



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Projeto de Equipamentos Auxiliares de
Fabrico**

DEFINITIVO

Autor

Alberto Pereira Simões

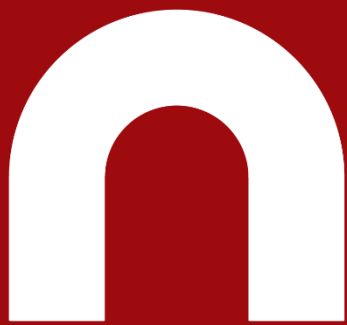
Orientador

Luís Filipe Pires Borrego

Coimbra, Janeiro 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de Equipamentos Auxiliares de Fabrico

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

Alberto Pereira Simões

Orientador

Professor Doutor Luís Filipe Pires Borrego

Supervisor na empresa SRAMPORT - Coimbra

Engenheiro Paulo Jorge de Oliveira Carvalho

Coimbra, Janeiro 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

O Relatório que aqui se apresenta foi possível devido à colaboração de várias pessoas, a todas elas não posso deixar de prestar os meus agradecimentos.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à SRAMPORT e a todos os seus membros e colaboradores, pelo acolhimento desde o primeiro dia e por terem sido proporcionadas todas as condições para a realização deste trabalho.

Ao Eng. Brian Ferreira, pela orientação, ensinamentos e conhecimentos transmitidos ao longo do trabalho.

Ao Eng. Paulo Carvalho, pela orientação, por todos os conhecimentos que transmitiu, pela disponibilidade e apoio prestado ao longo do estágio.

Ao Prof. Doutor Luís Borrego pela disponibilidade e orientação efetuada na realização deste trabalho, bem como pela transmissão de conhecimentos e amizade que se estabeleceu ao longo do meu percurso pelo ISEC.

Aos meus pais e irmã pelo orgulho demonstrado, pela possibilidade que me deram de realizar todo o meu percurso académico e do apoio incondicional criando sempre as melhores condições para o meu sucesso.

Aos meus amigos pela tolerância e compreensão com que me apoiaram e pelos momentos de companhia vividos ao longo dos cinco anos de formação académica.

Um agradecimento especial à Maria João Afonso por todo o apoio, carinho e paciência demonstrado ao longo de toda esta etapa.

Por fim agradeço a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a minha formação académica.

RESUMO

No âmbito do Mestrado em Equipamentos e Sistemas Mecânicos, Área de especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos e Sistemas Mecânicos, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, foi realizado um estágio na empresa SRAMPORT. Esta empresa é um fabricante de correntes de rolos, montagem de rodas e cubos de bicicleta, detida pelo grupo norte-americano, fabricante de componentes para bicicletas, SRAM.

O presente relatório de estágio tem como principal tema o desenvolvimento de uma plataforma elevatória em aço com o objetivo de eliminação de tarefas relacionadas com o manuseamento de cargas pesadas numa secção da empresa SRAMPORT, a secção da “Niquelagem”. Este relatório visa, essencialmente, o desenvolvimento de todos os componentes associados ao projeto da plataforma elevatória de cargas pesadas tais como o tapete transportador, a secadora, o cilindro pneumático e as barreiras de segurança. Foi também estudado os esforços do ponto de vista analítico e teórico a que toda a plataforma está sujeita durante a sua utilização avaliando-se também os componentes críticos e que estão sujeitos a maior intensidade de forças aplicadas. Posteriormente, foi feito um estudo de simulação em *Solidworks* de avaliação de tensões e deslocamentos a que a peça móvel da plataforma está sujeita durante a elevação de cargas.

Por outro lado, foi feita também uma análise ao processo e operações da secção da “Niquelagem” da empresa tendo em conta que movimentação excessiva de material ou operadores durante as suas tarefas são um dos vários tipos de desperdícios existentes na indústria. Todo o tipo de processamento que não cria valor ao cliente, deve ser considerado desperdício. Assim sendo, e devido ao eventual aumento da unidade fabril da SRAMPORT, foi também feita uma proposta de layout futuro para que a empresa tenha uma base quando quiser fazer esse aumento em termos de espaço.

Palavras-Chave: Niquelagem, Plataforma Elevatória, Cargas, Manuseamento, Layout

ABSTRACT

Under the Master's Degree in Mechanical Equipment and Systems, Area of specialization in Construction and Maintenance of Mechanical Equipment and Systems, of the School of Engineering of the Polytechnic of Coimbra, an internship was held at SRAMPORT company. This company is a manufacturer of roller chains, bicycle wheel and hub assembly, owned by the North American group, manufacturer of bicycle components, SRAM.

This internship report has as its main theme the development of a steel lifting platform with the objective of eliminating tasks related to the handling of heavy loads in a section of the SRAMPORT company, the “Nickel Plating” section. This report is essentially aimed at the development of all components associated with the design of the heavy load lift platform such as the conveyor belt, the dryer, the pneumatic cylinder, and the safety barriers. It was also studied the efforts from the analytical and theoretical point of view that the entire platform is subject to during its use, also evaluating the critical components that are subject to greater intensity of applied forces. Subsequently, a simulation study was carried out in *Solidworks* to evaluate the stresses and displacements to which the platform's moving part is subjected during load lifting.

On the other hand, an analysis was also made of the process and operations of the company's “Nickel Plating” section, bearing in mind that excessive movement of material or operators during their tasks is one of the various types of waste existing in the industry. Any type of processing that does not create value for the customer must be considered waste. Therefore, and due to the possible increase in SRAMPORT's manufacturing unit, a proposal was also made for a future layout so that the company has a base when it wants to make this increase in terms of space.

Keywords: Nickel Plating, Lift Platform, Loads, Handling, Layout.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	3
2.1. SRAM Portugal.....	5
2.2. Correntes	7
2.3. Correntes da SRAMPORT.....	8
2.4. Circuito de produção SRAMPORT	10
2.5. Niquelagem – Processo.....	15
3. PROJETO DE MANUSEAMENTO DE CARGAS NA NIQUELAGEM	24
3.1. Introdução	24
3.2. Estrutura do Projeto	25
3.3. Desenvolvimento da Plataforma Elevatória.....	25
3.4. Desenvolvimento da “Transferência de Caixas”	34
3.5. Desenvolvimento das Barreiras de Segurança.....	41
3.6. Novo Modo de Operação	46
4. ESTUDOS TEÓRICO-PRÁTICOS DE VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA ELEVATÓRIA.....	49
4.1. Introdução	49
4.2. Cálculos Analíticos de dimensionamento dos veios e do eixo	49
5. ESTUDO CAE (COMPUTER AIDED ENGINEERING)	63
5.1. Introdução	63
5.2. Considerações Gerais para os Estudos.....	64
5.3. Modelação 3D elementos Casca	65
5.4. Propriedades mecânicas do material.....	66
5.5. Solicitações e Restrições Aplicadas aos Estudos.....	67
5.6. Estudo da Malha	69
5.7. Convergência de Malha	70
5.8. Resultados Obtidos e Comparação entre Estudos.....	73
6. ANÁLISE AO PROCESSO E OPERAÇÕES DA SECÇÃO DA NIQUELAGEM	75
6.1. Layout Atual	75
6.2. Diagrama Spaghetti.....	75
6.3. Diagrama de Fluxos	77
6.4. Layout Futuro	80
7. CONCLUSÃO	82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	85
APÊNDICES	98
Diagrama Esforços Cortantes	98
Diagrama dos Momentos Torsões	98
Equações de primitivação para obtenção do diagrama do Momentos Fletores	99
Diagrama dos Momentos Fletores	99
Momento inércia secção do veio.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Planeamento geral do estágio.....	1
Figura 2: Logotipo do Grupo SRAM.	3
Figura 3: Crescimento do grupo SRAM.....	3
Figura 4: Representação das diversas marcas e componentes do grupo SRAM.	4
Figura 5: Projetos humanitários do grupo SRAM.	4
Figura 6: As várias unidades SRAM espalhadas pelo mundo.....	4
Figura 7: Escritórios atuais da SRAMPORT.....	5
Figura 8: Evolução da SRAMPORT.	5
Figura 9: Representação das “Eagle XX1” produzidas pela SRAMPORT.....	6
Figura 10: Representação das rodas e cubos ZIPP montados pela SRAMPORT.	6
Figura 11: Exemplo de correntes de rolos simples, dupla e tripla.....	7
Figura 12: Representação <i>Creo</i> de uma corrente de estrada da linha “Red”.....	8
Figura 13: Representação dos grupos de todo o tipo de correntes produzidos na SRAMPORT.....	9
Figura 14: Representação real da aplicação da corrente “Red”.....	9
Figura 15: Bobines de arame trefilado armazenadas.....	10
Figura 16: Zona das prensas e de uma cizalha rotativa.	11
Figura 17: Secção da “Bariagem” da SRAMPORT.	11
Figura 18: Alguns dos fornos utilizados no tratamento térmico.	12
Figura 19: Secção da “Niquelagem” da SRAMPORT.	13
Figura 20: Máquina de deteção de defeito.....	14
Figura 21: Correntes como produto final; individual ou em bobine.	14
Figura 22: Carro transportador dos tambores das cargas na linha de “Niquelagem”.....	15
Figura 23: Zona de carga e descarga do tambor das peças para niquelar.....	16
Figura 24: Zonas de desgorduramento de peças.....	16
Figura 25: Posto de lavagem de desgorduramento de peças.	17
Figura 26: Posto de sais ácidos.....	17
Figura 27: 2 postos em cascata da lavagem dos sais ácidos, (9 e 10); 1 posto de lavagem em água sulfúrica (11).	18
Figura 28: Postos de Níquel I, II, III e IV.	18
Figura 29: Posto de lavagem de níquel.....	19
Figura 30: Posto de lavagem final.	19
Figura 31: Secadora da secção da “Niquelagem”.....	20
Figura 32: Espaço técnico da secção da “Niquelagem”.	20
Figura 33: Estufa de desgaseificação de placas niqueladas.....	21
Figura 34: Produto final – peças niqueladas.....	21
Figura 35: Representação da operação problemática realizada pelos operadores.....	22
Figura 36: Cargas de placas niqueladas a transportar pelos operadores.....	23
Figura 37: Protótipo João Gilberto	26

Figura 38: Constituição da Plataforma Elevatória.....	27
Figura 39: Representação <i>Creo</i> da Estrutura em Aço (1-Estrutura em aço; 2-Carro de transporte de cargas).....	28
Figura 40: Representação <i>Creo</i> da Plataforma Móvel Desenvolvida (1-Peça de fixação de cinta de carga; 2-Rolete de guiamento; 3-Parte estrutural principal; 4-Batentes para a caixa de peças; 5-Rolo para deslize de caixa de peças; 6-Chapa de topo).	29
Figura 41: Mecanismo de fixação de cinta (1-Peça de entalamento de cinta; 2-Parafuso de fixação de cinta; 3-Cinta de elevação de carga; 4-Corpo da polia).	30
Figura 42: Representação <i>Creo</i> do Veio Enrolador.....	31
Figura 43: Representação <i>Creo</i> da Chumaceira utilizada.	31
Figura 44: Representação <i>Creo</i> do Motor SEW selecionado.	32
Figura 45: Cinta de carga selcionada.....	33
Figura 46: Representação Real da Secadora e Zona de Corte (1-Zona de Corte para adaptação).....	34
Figura 47: Representação <i>Creo</i> do modelo 3D da Secadora (1-Sinobloco 1; 2- Sinobloco 2; 3-Estrutura em tubo 150x80x5 mm).	35
Figura 48: Proposta de tapete – DRACO.	36
Figura 49: Proposta em <i>Creo</i> de tapete Fluidotronica (1-Base do tapete; 2-Guias; 3-Sensores de deteção de caixa; 4-Motor).	37
Figura 50: Representação de Funil Atual e Funil Desenvolvido (1-Apoio de Funil Atual; 2-Funil Atual; 3-Apoio de Funil Desenvolvido; 4-Funil Desenvolvido).	38
Figura 51: Representação <i>Creo</i> do conjunto do cilindro pneumático (1-Estrutura de sustentação; 2-Cilindro pneumático; 3-Conjunto de contacto do cilindro e a caixa de peças).	39
Figura 52: Representação <i>Creo</i> da Vista de Topo de Todo o Sistema Com as Barreiras de Segurança (1-Barreiras de Segurança Físicas; 2-Barreiras de Segurança de Feixe Laser).	41
Figura 53: Constituição da Barreira Física Móvel.....	42
Figura 54: Representação <i>Creo</i> do Sistema de Travagem da Porta Deslizante (1-Clamp ELESA; 2-Peça de Encaixe de Alumínio).....	43
Figura 55: Representação <i>Creo</i> do Sistema de Deslizamento (1-Elemento Deslizante MINITEC).	43
Figura 56: Constituição da Barreira Física Fixa.	44
Figura 57: Representação <i>Creo</i> da Barreira de Feixe Laser (1-Barreras Feixe Laser; 2-Barreira Física Móvel; 3-Botão de Emergência; 4-Consola de Comando do Sistema; 5-Pilar 90x45 mm).	45
Figura 58: Representação <i>Creo</i> de Todo o Sistema (1-Secadora; 2-Funil; 3-Consola de Comandos; 4-Tapete Transportador; 5-Estrutura e Cilindro de Transição; 6-Caixa de Peças Niqueladas; 7-Plataforma Elevatória; 8-Carro Transportador; 9-Barreiras de Segurança).	46
Figura 59 - Esquema de operações alteradas com implementação do projeto.	48

Figura 60: Representação <i>Creo</i> das peças relativas ao 1º estudo (1-Moto redutor; 2-Veio suporte; 3-Polias; 4-Veio enrolador; 5-Cintas de elevação.).	50
Figura 61: Pontos chave do estudo no veio enrolador.	51
Figura 62 - Diagrama de Corpo Livre.	51
Figura 63: Representação em <i>Creo</i> da peça em estudo (1-Corpo da Peça; 2-Eixo M10 em estudo).	58
Figura 64: Representação esquemática em <i>Creo</i> do estudo 2 (1-Cinta de Elevação; 2-Eixo M10 em estudo; 3-Polia de Fixação de Cintas).	59
Figura 65: Esquema básico de distribuição de forças do estudo 2.	60
Figura 66: Representação <i>Solidworks</i> da peça em estudo.	64
Figura 67: Representação <i>Solidworks</i> da malha do elemento casca.	65
Figura 68: Modelação no <i>Shell Manager</i> das espessuras em diferentes zonas da estrutura.	65
Figura 69: Propriedades mecânicas do aço S275J0 na base de dados do <i>Solidworks</i> .	66
Figura 70: Representação <i>Solidworks</i> das zonas de fixação durante o estudo de simulação.	67
Figura 71: Representação <i>Solidworks</i> das zonas de fixação durante o estudo de simulação.	67
Figura 72: Representação <i>Solidworks</i> da distribuição de força na face inferior da zona de acoplamento do rolo.	68
Figura 73: Representação <i>Solidworks</i> da distribuição de forças, fixação e aceleração da gravidade aplicadas à peça em estudo.	68
Figura 74: Representação <i>Solidworks</i> da distribuição de malha na peça.	69
Figura 75 - Gráfico de convergência de malha do 1ºEstudo realizado.	70
Figura 76 - Gráfico de convergência de malha do 2ºEstudo realizado.	71
Figura 77 - Gráfico de convergência de malha do 3ºEstudo realizado.	72
Figura 78 - Gráfico de convergência de malha do 4ºEstudo realizado.	72
Figura 79 - Gráfico de comparação dos deslocamentos máximos dos 4 estudos.	73
Figura 80 - Gráfico de comparação dos Tensões de Von Mises máximas dos 4 estudos.	74
Figura 81 - Gráfico de percentagens relativo aos tempos por tipo de operação.	79
Figura 82 - Gráfico de percentagens relativo às distâncias percorridas por tipo de operação.	79
Figura 83: Layout futuro proposto para o aumento da unidade fabril da SRAMPORT.	80
Figura 84 - Gráfico de percentagens relativo às distâncias percorridas por tipo de operação do layout futuro proposto.	81
Figura 85: Tipo de cargas para cada tipo de lote de peças durante o tratamento de superfície, “Niquelagem”.	85
Figura 86: Esquema dos vários “banhos” durante a linha de “Niquelagem”.	86
Figura 87: Tempos de secagem e desgasificação para cada tipo de lote de peças durante o tratamento de superfície, “Niquelagem”.	87

Figura 88: Layout inicial para implementação do projeto do Manuseamento de Cargas na “Niquelagem”.....	88
Figura 89: Desenho 2D da adaptação da secadora.	89
Figura 90: Dados técnicos do Motor SEW selecionado (KA19/TDRN63MS4/BE03HR/TF).	90
Figura 91: Momentos de inércia.	90
Figura 92: Fator estático de concentração de tensões do veio com furo.	91
Figura 93: Fator estático de concentração de tensões do veio com redução de secção (Esforço axial e Momento Fletor).	91
Figura 94: Fator estático de concentração de tensões do veio com redução de secção (Momento Torsor).	92
Figura 95: Esquema de operações seguidas pelo operador e pelas cargas na secção da “Niquelagem”.....	93
Figura 96: Diagrama Spaghetti da Secção da Niquelagem.	96
Figura 97: Diagrama de Fluxo de carga da secção da “Niquelagem”.	97

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1: Identificação dos pontos de interesse para o problema apresentado.	23
Tabela 2: Cálculo do perímetro necessário das cintas de elevação de carga.....	33
Tabela 3: Considerações do tipo de polias aplicadas e das cintas.	33
Tabela 4: “Theoretical Output” do Cilindro pneumático selecionado.	40
Tabela 5: Tabela de distâncias entre pontos chave do veio enrolador.....	51
Tabela 6: Tabela de Forças aplicadas ao veio enrolador	53
Tabela 7: Momentos Fletores dos pontos de interesse do veio.	54
Tabela 8: Dimensionamento dos pontos críticos identificados do veio.	57
Tabela 9: Propriedades mecânicas do aço S275J0.	66
Tabela 10: Descrição das operações realizadas pelo operador e tempos chave do processo.	76
Tabela 11: Tipo de operações realizadas na niquelagem, duração e distâncias percorridas pelas cargas.....	78
Tabela 12: Tabela de convergência de malha do estudo 1.	94
Tabela 13: Tabela de convergência de malha do estudo 2.	94
Tabela 14: Tabela de convergência de malha do estudo 3.	95
Tabela 15: Tabela de convergência de malha do estudo 4.	95

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

CHC	Máquina de Montar Corrente em Continuo
RIV	Rebitagem de Corrente
BTT	Bicicleta Todo-o-Terreno
σ	Tensão Normal
σ_{ced}	Tensão de Cedência
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Tensão Máxima
σ_{adm}	Tensão Admissível
σ_{eq}	Tensão Equivalente
σ_f	Tensão Admissível de Fadiga
E	Módulo de Elasticidade
α	Ângulo de abraçamento
I_x	Momento de Inércia
F_r	Força Resultante
P	Peso
F_t	Força Transmissível
M_t	Momento Torsor
M_f	Momento Fletor
F	Força Aplicada
F_{R1}	Força Resultante 1
F_{R2}	Força Resultante 2
F_{R3}	Força Resultante 3
Σ	Somatório
n	Coeficiente de Segurança
d	Diâmetro do veio
k_t	Fator estático de concentração de tensões
k_f	Fator dinâmico de concentração de tensões
k_{ta}	Coeficiente de tamanho
k_s	Coeficiente superficial
k_c	Coeficiente de carga

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a competitividade vivida no meio industrial tem sido crescente e abrangente a todos os tipos de indústria, as empresas procuram melhorar a performance dos seus processos, de modo a solidificarem a sua posição no mercado. Na SRAMPORT este conceito não é exceção e por isso o presente relatório é focado num objetivo muito concreto: otimização e melhoria das operações do operador e da disposição dos diferentes componentes presentes na secção da “Niquelagem” da empresa já anteriormente referida.

O planeamento que foi feito para o estágio foi dividido em algumas fases, sendo que todo o estágio foi enquadrado na secção de tratamento superficial (“Niquelagem”) da unidade fabril: 1ª fase - Análise do Processo e de Operações; 2ª fase – Projetos: Plataforma, Transferência de Caixas e Barreiras de Segurança; 3ª fase – Proposta de Layout Futuro de ampliação da unidade fabril. Todo o projeto foi feito para se avançar com a proposta à direção geral na última semana (1 de Julho, destaque na figura 1) do estágio, ficando agora a cargo da SRAMPORT a implementação definitiva do projeto, já estando feito toda a parte de orçamentação e planeamento em termos de construção de peças e de montagem.

Name	Duration	Begin date	End date
☐ • Cargas Niquelagem	214	11/2/20	8/26/21
☒ • Análise do Processo e de Operações	20	11/2/20	11/27/20
☒ • Projeto - Plataforma	78	11/9/20	2/24/21
☒ • Projeto - Transferência de Caixas	54	2/25/21	5/11/21
☒ • Projeto - Barreiras de Segurança	26	5/12/21	6/16/21
☐ • Compras	44	6/17/21	8/17/21
• Pedido de orçamentos	10	6/17/21	6/30/21
• Apresentação da orçamentação	1	7/1/21	7/1/21
• Aprovação orçamentos	10	7/2/21	7/15/21
• Encomendas	1	7/16/21	7/16/21
• Receção Secadora Adaptada	1	8/16/21	8/16/21
• Receção do Tapete e Cilindro	1	8/2/21	8/2/21
• Receção do Funil	1	8/3/21	8/3/21
• Receção Sensores	1	8/16/21	8/16/21
• Receção da estrutura e cintas	1	8/17/21	8/17/21
• Receção do Motor SEW	1	8/16/21	8/16/21
• Receção das Barreiras Físicas	1	8/17/21	8/17/21
• Receção das Barreiras de Feixe Laser	1	8/16/21	8/16/21
☐ • Preparação	11	7/16/21	7/30/21
• Recondicionamento da Secadora Antiga	10	7/16/21	7/29/21
• Substituição da Secadora Atual pela Antiga	1	7/30/21	7/30/21
☒ • Construção e modificação de equipamentos	21	7/19/21	8/16/21
☒ • Montagem	2	8/18/21	8/19/21
• Aceitação Definitiva	1	8/20/21	8/20/21
• Análise Custos	1	8/23/21	8/23/21
• Modo Operatório	1	8/24/21	8/24/21
• Formação	1	8/25/21	8/25/21
• Lessons	1	8/26/21	8/26/21

Figura 1: Planeamento geral do estágio.

De acordo com o problema identificado foram aplicados conceitos de mecânica e de gestão industrial de modo a atingir o objetivo proposto inicialmente.

Por outro lado, também um dos objetivos do estágio era proporcionar a consolidação da formação académica e o desenvolvimento de competências técnicas e profissionais em contexto real de trabalho em ambiente fabril, através da integração nas atividades da empresa SRAMPORT - Transmissões Mecânicas. O estágio foi integrado no departamento do *Manufacturing Engineering*, com o objetivo de desenvolver novos equipamentos e alterar alguns existentes de forma a desenvolver novas formas de operar ou melhorar a produtividade das já existentes.

O presente relatório está estruturado em 3 temas principais: primeiro é feita a descrição do fluxo de produção da empresa assim como a secção onde se inseriu o estágio, a “Niquelagem”; seguidamente é feito o desenvolvimento de um projeto de elevação de cargas tendo em conta os problemas identificados no percurso de produção da secção da “Niquelagem”, sendo feita a verificação analítica e computacional do dispositivo desenvolvido (a plataforma elevatória); por último e tendo em conta a experiência ganha na secção já referida, foi feito um estudo de operações e de fluxo de produção para que, posteriormente, fosse feita a proposta de um layout futuro, neste caso, devido à previsão do aumento da unidade fabril da empresa.

De notar que a descrição dos equipamentos das linhas de montagem de correntes de rolos da empresa, bem como a descrição de todo o processo de fabrico de uma corrente de rolos para bicicleta não são do conhecimento técnico geral, existindo confidencialidade industrial em relação a esta temática, pelo que é necessário ter algum cuidado na sua abordagem. Assim, todo o processo foi descrito apenas com a profundidade necessária para a compreensão deste trabalho.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A marca SRAM foi fundada em 1987 em Chicago, nos Estados Unidos, por quatro amigos a partir apenas de uma pequena garagem. Dedica-se ao desenvolvimento e produção de componentes de bicicleta. O crescimento, desde 1987, foi tal que a SRAM (figura 2) é, hoje, uma das empresas de referência na indústria mundial de componentes para bicicleta desde o BTT até ao ciclismo de estrada (Ramos, 2021).



Figura 2: Logotipo do Grupo SRAM.

No ano de 1997 deu-se a aquisição por parte da SRAM da divisão de duas rodas da Fitchel & Sachs (Mannesman). Desde então a marca tem vindo a crescer (figura 3) e a tomar consciência social, expandindo-se por todo o mundo, tornando-se num grupo reconhecido e admirado por todos a nível mundial, possuindo, atualmente, seis marcas e dois projetos de carácter humanitário.



Figura 3: Crescimento do grupo SRAM.

Na Figura 4 são apresentadas as várias marcas e projetos do grupo SRAM, estando ainda indicados os produtos de cada uma delas.



Figura 4: Representação das diversas marcas e componentes do grupo SRAM.

Os projetos de caráter humanitário são uma fundação, a WORLD BICYCLE RELIEF, para difundir no continente africano bicicletas robustas e de baixo custo e um fundo social, o SRAM CYCLING FUND, para o auxílio dos grupos de defesa do ciclismo (figura 5).



Figura 5: Projetos humanitários do grupo SRAM.

O grupo SRAM está, atualmente, presente em 13 países possuindo várias fábricas e escritórios que empregam cerca de 4000 colaboradores que se dedicam à produção, desenvolvimento e comercialização dos produtos do grupo. A figura 6 mostra a dispersão destas fábricas e escritórios a nível global.



Figura 6: As várias unidades SRAM espalhadas pelo mundo.

2.1. SRAM Portugal

A SRAM Portugal [SRAMPORT, figura 7], adquirida pela SRAM em 1997, é atualmente a única unidade fabril do grupo na Europa e tem como atividades a produção de correntes e montagem de cubos e rodas.

A empresa em Portugal foi fundada em 1968 com a denominação *Trasmeca – Transmissões Mecânicas, Lda*. O capital da empresa era detido inicialmente pelo grupo Peugeot e o empresário português Armando Simões, detendo cada uma das partes 50% do seu capital. Anos mais tarde (1980) o grupo Peugeot adquiriu a totalidade da empresa ficando a deter 100% do seu capital.



Figura 7: Escritórios atuais da SRAMPORT.

Em 1987, a empresa volta a ser adquirida, desta vez pelo grupo Fichtel & Sachs (Mannesmann). Dez anos mais tarde, em 1997, seguindo a sua estratégia de crescimento e expansão, a empresa SRAM adquire uma parte da empresa Fichtel & Sachs (segmento de bicicleta). Com esta aquisição, a empresa situada em Portugal passou assim a ser detida pelo grupo norte-americano e iniciou o processo de alteração da sua denominação social para SRAMPORT que se concretizou anos mais tarde, em 2008 (figura 8).

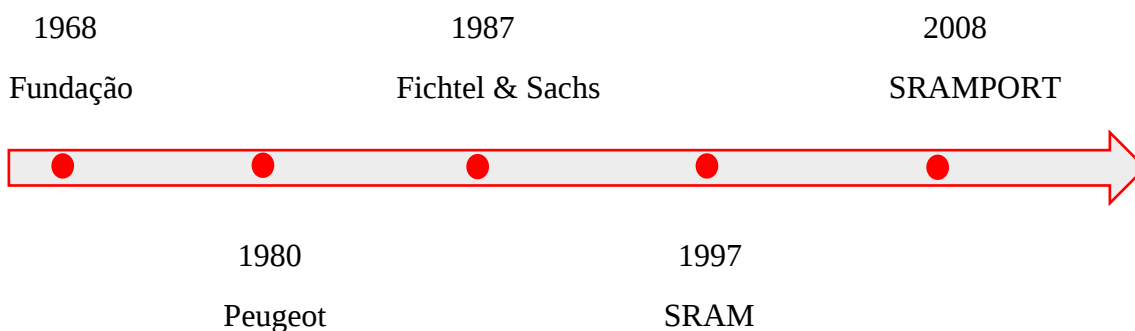


Figura 8: Evolução da SRAMPORT.

Na última década, a SRAM Portugal tem vindo a crescer de forma sustentável e competitiva diversificando os seus produtos (correntes, rodas e cubos; figuras 9 e 10, respetivamente) e mercados. Este crescimento assenta numa estratégia de qualidade, gestão ambiental e retenção de talentos que visa o desenvolvimento e a produção de produtos de excelência e superação das expectativas do cliente através de práticas ambientais responsáveis (Ramos, 2021).



Figura 9: Representação das “Eagle XX1” produzidas pela SRAMPORT.



Figura 10: Representação das rodas e cubos ZIPP montados pela SRAMPORT.

2.2. Correntes

As correntes ocupam um lugar de destaque entre os sistemas de transmissão de movimento sendo muito utilizadas devido às vantagens da sua utilização. As correntes são caracterizadas por apresentarem baixa resistência às condições ambientais e requerem, frequentemente, sistemas de proteção, lubrificação, cujo modo depende das condições de funcionamento (potência e velocidade), apresentarem uma duração longa (até 15000 horas) sem necessidade de substituição de corrente e rodas ou pelo elevado rendimento, cerca de 97-98% (dependendo do tipo de corrente). Os principais tipos de correntes são: as correntes de rolos, as correntes de buchas e as correntes de dentes. As correntes de rolos são as mais comuns em aplicações industriais.

Estas correntes são constituídas por placas internas e externas ligadas por pinos. Os pinos são envolvidos por buchas nas quais funcionam (rolam) os rolos. Os pinos, as buchas e os rolos são fabricados em aço de liga, cujas superfícies são, em geral, cementadas e retificadas. Também podem ser dos tipos dupla ou tripla (figura 11).

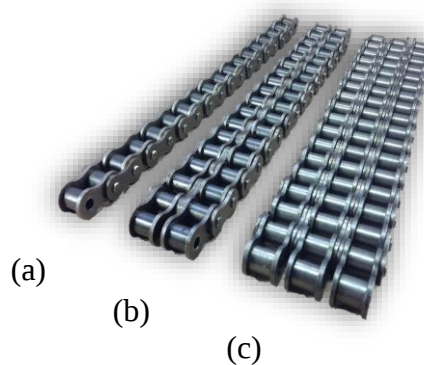


Figura 11: Exemplo de correntes de rolos simples (a), dupla (b) e tripla (c).

As correntes de buchas diferem das de rolos pelo facto de não possuírem rolos. Este facto permite que as buchas e os pinos sejam de dimensões maiores e, por conseguinte, as correntes de buchas apresentam maior resistência à rotura. As correntes de buchas são menos silenciosas, apresentam maior escorregamento (desgaste) e, por isso, uma maior perda de rendimento.

Quanto às correntes de dentes, estas são constituídas por elos os quais são constituídos por várias placas montadas lado a lado sobre pinos formando dentes que vão engrenar nos dentes da roda. Deste modo, podem obter-se correntes bastante largas e, consequentemente, bastante resistentes. As correntes de dentes são muito silenciosas e apresentam baixos níveis de desgaste.

2.3. Correntes da SRAMPORT

Como já referido anteriormente, um dos principais produtos desenvolvidos e produzidos pela SRAMPORT são correntes de rolos para bicicletas. Em órgãos de máquinas existe muitas vezes a necessidade de transmitir energia mecânica entre diversos elementos. Geralmente, essa transmissão pode ser feita através de elementos rotativos, tais como engrenagens, polias com correias e carretos com correntes. As correntes de rolos são muito aplicadas na indústria, no setor automóvel, nos motociclos, entre outros. Devido às características técnicas, estas correntes não são a melhor opção para as bicicletas, pois não permitem os valores de flecha exigidos pelo elevado número de rodas dentadas da cassette da roda traseira, utilizados nos dias de hoje. Assim sendo, essas transmissões sofreram várias alterações, em relação às correntes de rolos tradicionais, para continuarem a ser aplicadas no exigente setor ciclístico. As diversas correntes produzidas pela SRAM Portugal destacam-se pelo facto de serem bastante mais finas do que as correntes de rolos tradicionais aplicadas na indústria e também pelo facto de não apresentarem buchas sendo apenas constituídas por duas placas, interior e exterior, um rolo e um eixo. As placas são totalmente produzidas pela SRAM Portugal e os rolos e eixos são comprados a um fornecedor exterior (Ferreira, 2017). A figura 12 é exemplo de uma corrente desenvolvida pelo grupo.

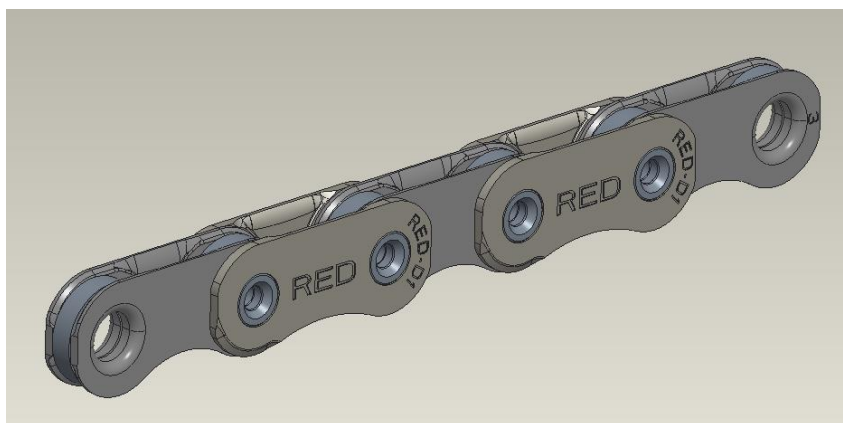


Figura 12: Representação *Creo* de uma corrente de estrada da linha “Red”.

Atualmente, são produzidas correntes de sete diferentes grupos divididos pelo número de velocidades que é possível obter: correntes de uma, sete, oito, nove, dez, onze e, ultimamente, doze velocidades. Na figura 13, é possível observar os grupos de todo o tipo de correntes produzidos. As diferenças entre esses grupos residem na qualidade que conferem ao utilizador, isto é, no tipo de material de cada corrente, no peso da própria corrente, no tipo de tratamento térmico ou de superfície a que foram sujeitas as peças que constituem cada corrente, no tipo de eixo da corrente, podendo ser eixo oco (Hallow Pin) ou sólido (Solid Pin), entre outros aspetos como os elos de fecho da corrente. Esses elos diferem entre os Básicos (corrente de uma velocidade), os Power Links (correntes de sete, oito e nove velocidades) e os Power Locks (correntes de topo como as de dez, onze ou doze velocidades).

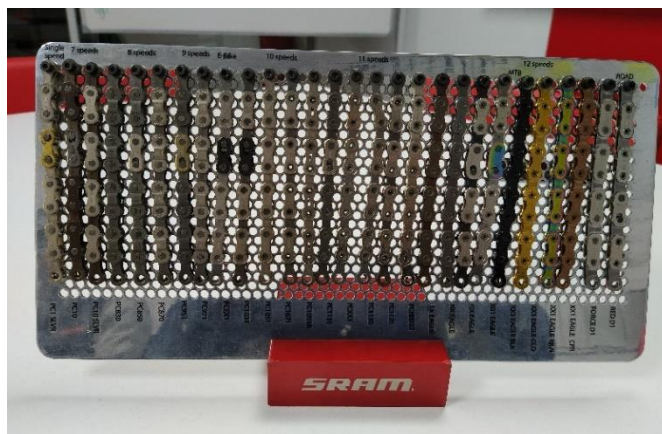


Figura 13: Representação dos grupos de todo o tipo de correntes produzidos na SRAMPORT.

A nível de inovação de produto, a marca SRAM introduziu recentemente o seu novo grupo de transmissão, denominado por “Eagle”. Este grupo conta com doze velocidades na parte traseira e uma única velocidade na parte frontal e são correntes de BTT. As correntes “Eagle” revolucionaram o mercado do mundo ciclístico devido à versatilidade de inclinações de terreno que permite ao ciclista ultrapassar. Essa recente inovação permite perceber o esforço que a empresa tem desenvolvido para se afirmar no mercado, sendo, atualmente, a marca pioneira desta tecnologia. A SRAMPORT tem um papel importante nesta nova tecnologia, pois as correntes deste grupo “Eagle” foram desenvolvidas pela empresa e, atualmente, produzidas em elevadas quantidades. De notar que a SRAMPORT quando está a desenvolver uma nova gama de correntes não trabalha sozinha. Juntamente com os parceiros internacionais, desenvolvem todo conjunto que implica uma corrente como a cassette e o desviador, esses desenvolvidos na unidade empresarial alemã, e os pratos dianteiros, esses por sua vez desenvolvidos por parceiros norte-americanos. Posteriormente, e com base no desenvolvimento das “Eagle”, a SRAMPORT já desenvolveu correntes de doze velocidades para ciclismo de estrada, as linhas “Red” (figura 14) e “Force”, sendo que essas são utilizadas ainda com dois pratos dianteiros ao contrário das correntes para BTT. Esse tipo de correntes possuem o mesmo tipo de materiais e tratamentos que as “Eagle”, porém foram desenvolvidas com uma geometria diferente para retirar o máximo de eficiência na sua utilização desta vez na estrada em vez do todo-o-terreno.



Figura 14: Representação real da aplicação da corrente “Red”.

2.4. Circuito de produção SRAMPORT

Neste capítulo vai ser feita uma pequena apresentação do circuito de produção de correntes de rolos na SRAMPORT.

No contexto atual da indústria, é necessário produzir muito, em pouco tempo e com boa qualidade de produto para que as empresas possam evoluir. Para tal é necessário reduzir todas as deslocações e tempos não produtivos na produção dos componentes. Deste modo, planificar o layout das unidades fabris é crucial para que o fluxo de produção seja o mais contínuo e próximo da operação seguinte poupando tempo e metros de deslocação caso a operação seja realizada noutro equipamento ou área diferente.

No caso da unidade fabril da SRAMPORT o circuito de produção das suas correntes está bem delineado: Peças Soltas → Tratamentos Térmicos e de Superfície → Montagem; sendo que a matéria-prima, o aço, chega, inicialmente, em rolos de aço laminado, a fita de aço, ou em bobines de arame.

2.4.1. Peças Soltas

Os rolos de aço adquiridos são para produção das placas tanto interiores como exteriores das correntes e quanto às bobines, servem a produção de alguns dos eixos de determinadas correntes. Os rolos de aço laminado ficam arrumados em estantes em espera para o corte tal como as bobines de arame trefilado, também elas ficam organizadas em prateleiras para o posterior corte dos eixos, estas últimas encontram-se representadas na figura 15.



Figura 15: Bobines de arame trefilado armazenadas.

De seguida passa-se para o corte tanto das placas como dos eixos. As prensas industriais presentes na fábrica executam o corte das placas interiores e exteriores, utilizando ferramentas progressivas, (estas) cortando os rolos de fita de aço calibrado. Os eixos são cortados nas cisalhas rotativas também presentes na unidade fabril. Na figura 16 é mostrada a zona das prensas e também se apresenta a secção das cisalhas, estas duas zonas formam a secção das “Peças Soltas”. Os rolos são adquiridos no exterior já com a geometria final, sendo apenas rebarbados e tratados termicamente nas instalações da SRAMPORT.



Figura 16: Zona das prensas e de uma cisalha rotativa.

Depois do corte, tanto das placas como dos eixos, esses sofrem um tratamento de rebarbagem com água e abrasivos, denominado “Bariagem”, que consiste numa primeira remoção de rebarbas e óxidos existentes que se possam ter acumulado durante o corte, sendo também retirado algum do óleo proveniente do processo de corte. Na figura 17 apresenta-se zona da secção de “Bariagem”.



Figura 17: Secção da “Bariagem” da SRAMPORT.

2.4.2. Tratamento Térmico e de Superfície

Neste campo da fábrica recorre-se a fornos de grandes dimensões para os tratamentos térmicos de têmpera, cementação e revenido. Esses tratamentos têm como objetivo o aumento da dureza de cada componente que constitui a corrente, placas, rolos e eixos. Na figura 18 são mostrados alguns dos fornos utilizados na SRAMPORT para a realização dos tratamentos térmicos.



Figura 18: Alguns dos fornos utilizados no tratamento térmico.

Tendo em conta que as correntes estão submetidas a elevados esforços e desgaste, esses tratamentos são de elevada relevância para a fiabilidade das correntes sendo todos os lotes ensaiados em bancada para verificação das forças de tração máximas e dureza, de modo a assegurar os requisitos mínimos. Após esses ensaios e averiguados os resultados dentro desses requisitos, passa-se à produção em grande escala.

Posteriormente aos tratamentos térmicos, as peças são lavadas, sendo feita toda a remoção de sujidade e de óxidos provenientes dos processos de tratamento térmico. A seguir, dependendo do modelo de corrente, as peças são levadas diretamente para a montagem ou passam ainda por mais um tratamento, sendo desta vez um tratamento de superfície, a Niquelagem.

Na Niquelagem as peças passam por diversos “banhos” de lavagem com recurso a vários produtos químicos em tinas antes de serem propriamente “Niqueladas” (adição de Níquel à superfície). Esse tratamento é normalmente feito em correntes de gama alta e confere às correntes uma elevada resistência à corrosão bem como um brilho característico da adição de Níquel. Na figura 19 é apresentada a secção de Niquelagem. Tendo em conta que o principal projeto do estágio foi desenvolvido nesta secção, mais à frente no relatório será explicado com mais detalhe todo esse processo.



Figura 19: Secção da “Niquelagem” da SRAMPORT.

2.4.3. Montagem

Após terem sido tratadas, termicamente e superficialmente, as peças soltas são encaminhadas (a seguir) para a montagem. Máquinas denominadas CHC fazem a montagem de todos os componentes para a formação final da corrente.

A CHC é dividida em seis módulos, cada um com a sua função. Primeiramente, são cravados dois eixos na placa exterior inferior constituindo, assim, os elos. Esses são, seguidamente, unidos pela placa interior inferior. No terceiro módulo, são colocados os rolos encaixados nos respetivos eixos. Depois, é colocada a outra placa interior (que nesse caso é denominada por superior) faltando apenas a colocação da placa exterior superior para a obtenção da corrente completa, cuja operação é executada no quinto módulo. Finalmente, no sexto módulo é feita a calibração que regula a cota do eixo que sai fora das placas. É de realçar que todo esse processo descritivo é realizado a grande velocidade, sendo alcançadas produções que se situam próximas dos 670 metros de corrente por hora.

A linha de montagem avança e é feita a Rebitagem (RIV) da corrente, ou seja, a deformação da extremidade do eixo de forma a garantir a união do conjunto para que todos os componentes não se separem. Esse processo pode ser realizado de duas formas: -por esmagamento, através de discos para o caso dos eixos sólidos; - por pancada para os eixos perfurados. A seguir, as correntes de gama mais alta passam por uma máquina de controlo, figura 20, efetuado através de visão artificial, onde câmaras de alta velocidade inspecionam toda a corrente de forma a detetar qualquer erro ou defeito que ainda possa existir.



Figura 20: Máquina de detecção de defeito.

No passo seguinte é feita a lubrificação da corrente, pois quando é enviada para o cliente já segue devidamente lubrificada. Essa tarefa é executada na lubrificadora através de um processo de imersão e posterior remoção dos excedentes de massa que ficam na corrente.

Finalmente é efetuado o corte e embalamento da corrente, o qual é realizado num equipamento denominado LDF. Nesse equipamento a corrente é cortada com o número de malhas desejadas pelo cliente e embalada em caixas (Barquetes) de 25 ou 50 unidades. Se for o caso do pedido do cliente, em vez de cortada, pode ainda ser embalada em bobines. Todo esse processo de montagem desde a CHC até à LDF é automático, existem apenas dois operadores fixos por linha, um que se encarrega e opera a CHC e outro operador que está encarregue do funcionamento de duas linhas.

Após todo esse processo de montagem as correntes estão prontas para serem enviadas para os clientes, sendo as paletes de corrente já cortada ou em bobines colocadas no armazém de expedição para serem entregues, figura 21.



Figura 21: Correntes como produto final; individual ou em bobine.

2.5. Niquelagem – Processo

O processo de Niquelagem é um processo de tratamento superficial para várias correntes da SRAMPORT como, por exemplo, as “Eagle”. São 11 etapas (banhos) pelo qual passa cada carga de placas (sendo as placas transportadas pelo carro da niquelagem, figura 22), podendo essas cargas variar entre 15 e 22 kg, sendo que o tempo que demora o processo desde que são depositadas as placas no tambor até que terminem o processo é 87 min, igual para todo o tipo de cargas. Dá-se início ao processo a partir do momento que chega um determinado lote de um determinado material. Cada tipo de lote tem o seu tipo de carga. Encontra-se explícito em anexo (figura 85) a tabela utilizada pelos operadores para distinguirem os tipos de carga.



Figura 22: Carro transportador dos tambores das cargas na linha de “Niquelagem”.

2.5.1. Etapas

Ao longo do processo de “Banhos” são utilizados números para descrever cada posto sendo que os números utilizados nos postos não coincidem exatamente com o número das etapas em questão. De notar que a lista de banhos encontra-se em anexo (figura 86).

A 1ª etapa é o carregamento e descarregamento (posto 1) das cargas no tambor que transporta as placas ao longo do circuito da Niquelagem, figura 23. Esse processo é feito pelo operador que, previamente, com uma balança pesa o balde de transporte com os 15, 17 ou 20 kg consoante lhe for indicado pelo tipo de lote de placas.



Figura 23: Zona de carga e descarga do tambor das peças para niquelar.

Após o carregamento do tambor começa efetivamente o processo. As etapas 2 e 3 são dois tipos de Desengorduramento: o Químico e o Eletrolítico (posto 3 e 4), aqui as tinas são de, respetivamente, 380 L e 440 L, figura 24. No Desengorduramento Químico são utilizados 2 produtos desengordurantes alcalinos fortes diluídos em água da rede. Por outro lado, no Desengorduramento Eletrolítico são utilizados novamente 2 produtos, mas desta vez um desengordurante alcalino ainda mais forte e um aditivo de limpeza para remoção de impurezas metálicas diluídos em água da rede. Nesse tratamento é utilizada corrente elétrica onde ocorre o fenómeno de carregar positivamente as placas e negativamente os barramentos da tina acontecendo a remoção de impurezas da superfície das placas.



Figura 24: Zonas de desengorduramento de peças.

Passamos a seguir para a etapa 4 que tem 3 postos a funcionar em cascata, postos 5,6 e 7. Essa etapa chama-se Lavagem de Desengorduramento sendo que aqui as tinas têm a capacidade de 300 L e é utilizada apenas água da rede, figura 25.

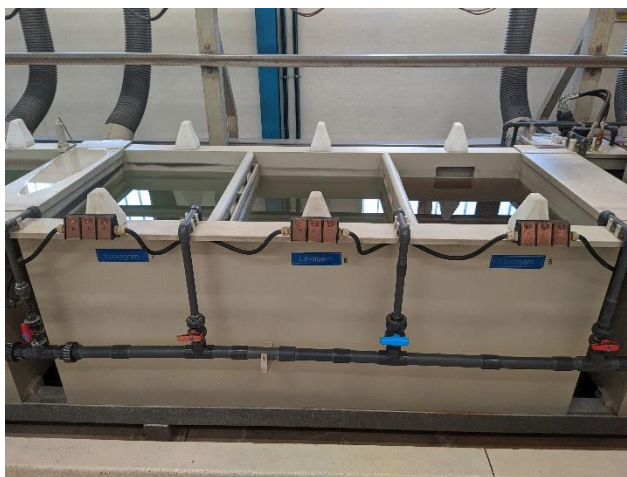


Figura 25: Posto de lavagem de desengorduramento de peças.

Subsequentemente à lavagem é executada uma passagem por Sais Ácidos, esta é a etapa 5 do processo, tendo essa tina a capacidade de 300 L, tal como a anterior. Nesse caso são utilizados 3 sais dissolvidos na água da rede com o objetivo de fazer um ataque à superfície das placas para a deixar propícia a receber o Níquel, faz-se assim a ativação da superfície, figura 26.

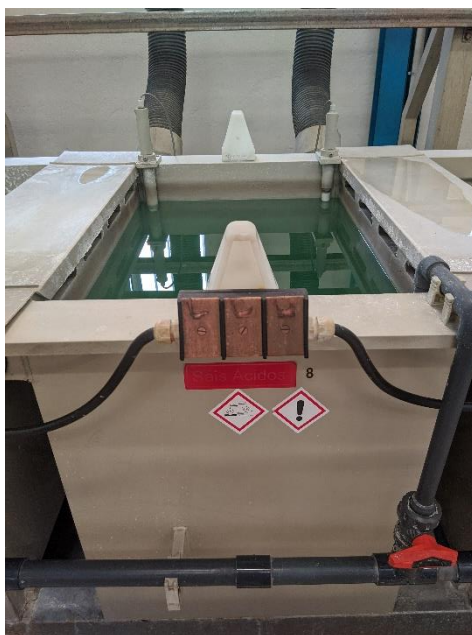


Figura 26: Posto de sais ácidos.

A Etapa 6, desta vez com 2 postos em cascata é apenas uma etapa, novamente, de Lavagem com água da rede numa tina de 300 L. Essa lavagem denomina-se “Lavagem Sais Ácidos”.

Quanto à etapa 7 é efetuada uma Lavagem em Água Sulfúrica (posto 11) com a utilização de Ácido Sulfúrico e um produto molhante que tem como função baixar a tensão na superfície e ativá-la novamente, figura 27.



Figura 27: 2 postos em cascata da lavagem dos sais ácidos, (9 e 10); 1 posto de lavagem em água sulfúrica (11).

Em seguida, passamos para a Niquelagem propriamente dita e revestimento de Níquel à superfície das placas. Depois de toda a preparação anterior das placas passa-se a um Banho de Níquel sendo esta feita em 4 postos diferentes cada um com um tambor com placas, Níquel I, II, III e IV. Tendo em conta que é a etapa mais demorada, consegue-se ter 4 banhos a funcionar e assim não ficarem cargas de placas à espera que acabe o processo da carga anterior, figura 28.

Aqui são utilizadas 2 tinas divididas em 2 setores cada com capacidade de 1000 L. Utiliza-se então Cloreto de Níquel, Sulfato de Níquel e Ácido Bórico, respetivamente, dissolvidos em água desmineralizada. Também se utiliza Níquel metálico nos barramentos e corrente elétrica desta vez ficando as peças carregadas negativamente com iões e o Níquel positivamente, deslocando-se o Níquel para a superfície das placas.

Além disso neste banho são utilizados alguns produtos aditivos que vão sendo adicionados em pequenas quantidades à medida que ocorre o processo. Esses têm várias funções importantes no processo, tais como: abrillhantar, conferir ductilidade, função de molhante, estabilizar e uniformizar a superfície das placas.

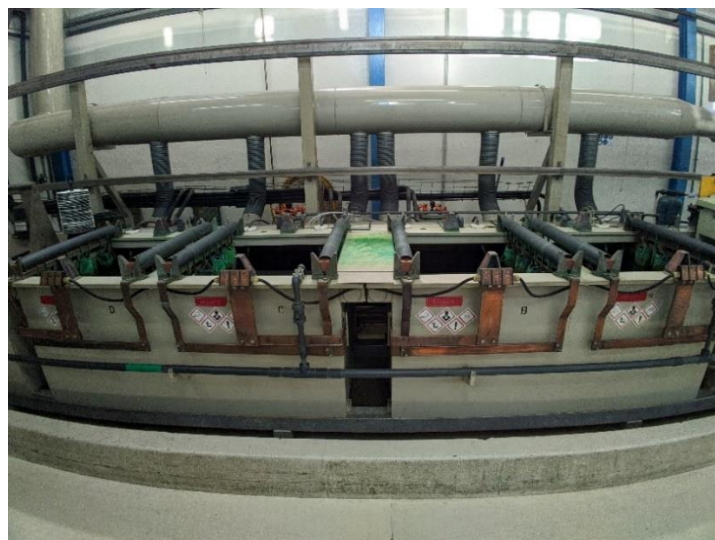


Figura 28: Postos de Níquel I, II, III e IV.

Depois disso ao revestimento de Níquel é feita novamente uma Lavagem em cascata denominada “Lavagem Níquel” com 3 tinas de 300L da água desmineralizada. Na primeira das 3 tinas em cascata alguma da água do banho é reaproveitada para as tinas de Níquel I, II, III e IV, figura 29.



Figura 29: Posto de lavagem de níquel.

Na etapa 10 é feita a Lavagem final a Quente das placas tendo a tina de lavagem capacidade de 375 L sendo utilizado um protetor de superfície anticorrosivo e o restante de água da rede, figura 30.



Figura 30: Posto de lavagem final.

Finalmente, a última etapa é efetuada no mesmo posto da 1ª, sendo a descarga do tambor do carro feita, novamente, num dos baldes de transporte de cargas. Essa é a última etapa deste processo antes da secagem das peças.

2.5.2. Secagem e desgaseificação

Após todo o processo dos banhos de Niquelagem as placas passam por mais 2 processos: um de secagem na secadora e outro de desgaseificação em estufas. A secagem é um processo bastante acelerado por comparação com o processo de desgaseificação. Apenas 6 minutos na secadora (figura 31) que opera de forma vibratória e centrífuga para que as placas fiquem, de um modo geral, secas para, seguidamente, serem encaminhadas para as estufas. Nessa fase, antes das placas serem encaminhadas para as estufas é, previamente, feito um controlo de qualidade no espaço técnico para ser verificada a consistência da deposição do Níquel na superfície das placas (figura 32). O operador também tem ao seu dispor um computador que lhe permite saber o estado detalhado da linha.



Figura 31: Secadora da secção da “Niquelagem”.



Figura 32: Espaço técnico da secção da “Niquelagem”.

Depois do controlo das placas, essas são encaminhadas para as estufas (figura 33) e, dependendo do tipo de lote, são feitos ciclos de 4 ou 5 horas em desgaseificação a 180 graus, estando esta tabela de ciclos representada em anexo (figura 87). Esse processo de desgaseificação tem como objetivo prevenir a fragilização intra granular do Hidrogénio que se possa ter acumulado no aço depois de todo o processo da Niquelagem, o qual poderia causar a fragilização da superfície das placas.



Figura 33: Estufa de desgaseificação de placas niqueladas.

Após o ciclo de desgasificação nas estufas dá-se por concluído o processo de Niquelagem, passando as placas diretamente para as várias linhas de montagem. Na figura 34 apresenta-se um exemplo de uma carga de placas já niquelada.

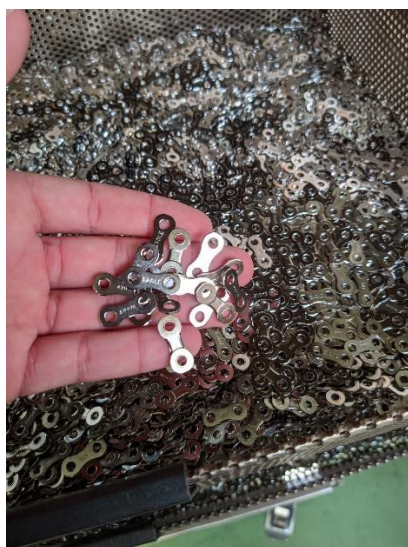


Figura 34: Produto final – peças niqueladas.

2.5.3. Manutenções

Tendo em conta a complexidade do processo de Niquelagem, são efetuadas as manutenções necessárias na linha de banhos com períodos distintos consoante o implementado, podendo ocorrer manutenção quinzenal, semanal, bissemanal ou trissemanal dependendo do tipo de ajuste que seja necessário realizar tais como: substituição de banhos, descontaminação de ferro dos banhos de níquel brilhante, correções de banhos, reabastecimento dos tanques dos aditivos, substituição dos filtros das bombas de níquel ou adição de carvão nas bombas de níquel, entre outras.

2.5.4. Problemas encontrados no ciclo da niquelagem

O principal problema que foi identificado no circuito de tarefas do operador da linha da Niquelagem foi o facto de, na transição das peças que saem da secadora para o carro de transporte de peças para as estufas, o operador ter que pegar em cargas de, no máximo, 25 kg desde a superfície do chão e elevá-las até uma altura máxima de 1.65 m para as prateleiras do carro de transporte, figura 35. Sendo que para os operadores esta tarefa acaba por não ser ergonómica causando bastante desgaste visto que é uma tarefa que é realizada cerca de 40 vezes por turno. Num futuro próximo a capacidade de fluxo da linha de Niquelagem está prevista ser aumentada com a chegada de uma nova estufa e novos tambores da linha e, conseqüentemente, esta tarefa irá aumentar ainda mais o número de vezes que irá ser repetida.



Figura 35: Representação da operação problemática realizada pelos operadores.

Quanto às cargas, figura 36, essas caracterizam-se por serem bastante pesadas (máximo 25 kg), de difícil manuseamento (falta de pegas) e sendo manipuladas à distância do tronco causando flexão ou torção do tronco. Esses tipos de características causam sobre esforços e exigem posturas e movimentos difíceis aos operadores, tendo também em conta o elevado número de vezes que executam essa tarefa. É de notar que a movimentação manual de cargas pode afetar a saúde dos trabalhadores sendo estas atividades contínuas de elevação/movimentação de carga e podem levar à deterioração gradual do sistema musculoesquelético (zona lombar). As lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho afetam sobretudo as costas, o pescoço, os ombros e os membros superiores, mas podem também afetar os membros inferiores. Neste caso em concreto, a zona mais afetada são as costas (zona lombar) que é sujeita a esforço elevado devido ao peso da carga e à quantidade de vezes que a tarefa é repetida. Os problemas de saúde variam entre dores ligeiras a situações clínicas mais graves, que exigem dispensa do trabalho ou tratamento médico.

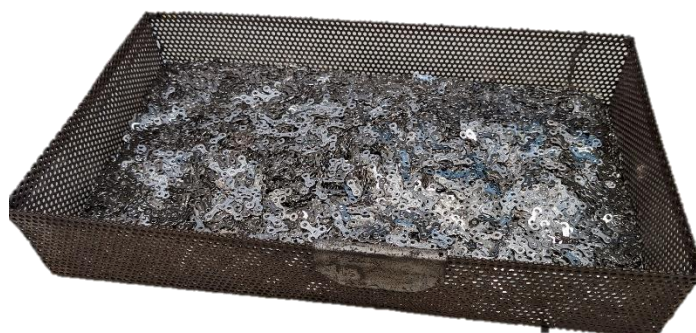


Figura 36: Cargas de placas niqueladas a transportar pelos operadores.

Assim, foi reunido na tabela 1 os vários pontos de interesse para o problema chegando-se à conclusão que se teria de atuar com medidas de engenharia para alteração da tarefa problemática para o operador.

Tabela 1: Identificação dos pontos de interesse para o problema apresentado.

Tarefa	Identificação dos perigos	Riscos	Dano/Efeito	Medidas existentes	Medidas de controlo propostas
Pegar em cargas de 25 kg desde a superfície do chão e elevá-las até uma altura máxima de 1.65 m para o carro de transporte.	Movimentação manual de cargas.	- Esforço excessivo. - Queda de objetos. - Ergonómico.	Lesões musculoesqueléticas.	Sapatos de segurança.	Medidas de engenharia - alterar procedimento de trabalho.

3. PROJETO DE MANUSEAMENTO DE CARGAS NA NIQUELAGEM

3.1. Introdução

Neste capítulo será apresentada a proposta de melhoria para o problema relativo às possíveis lesões músculo-esqueléticas já referidas anteriormente.

Desse modo, num pensamento inicial do processo, o operador apenas posicionaria a caixa de peças vazia por baixo da secadora e faria a descarga. A partir daí algum tipo de mecanismo faria a sua elevação e o posterior posicionamento da caixa no carro de transporte, tornando a tarefa totalmente automatizada.

Na primeira reunião foram apresentados todos estes conceitos chegando-se à conclusão que teria de ser desenvolvido um “elevador” e selecionado um “tapete” para retirar o peso da operação de transportar e elevar as cargas de 25 kg aos operadores. Também se concluiu que, tendo em conta o desenvolvimento de uma máquina nova, seria necessário fazer uma alteração ao layout atual da zona onde são trabalhadas as peças e uma adaptação à secadora que é utilizada na secção. O layout inicial simplificado que foi definido encontra-se em anexo (figura 87). No entanto, já noutra reunião, ficou definido que o processo seria semiautomático no ponto de vista em que é o operador que faz a transição da caixa desde a plataforma elevatória para o carro, visto que a opção desta tarefa ser automática tornaria a plataforma muito complexa e dispendiosa. Assim, o operador apenas tem de empurrar a caixa com peças e a plataforma faz a sua elevação.

3.2. Estrutura do Projeto

Para simplificar, o projeto foi subdividido em três subprojetos sendo eles: “Plataforma elevatória”, “Transferência de Caixas” e “Barreiras de segurança”.

No primeiro subprojeto, “Plataforma Elevatória”, foi desenvolvida uma estrutura que fará a elevação da carga (as placas de corrente) que era o primeiro grande objetivo para retirar ao operador essa tarefa por causa dos motivos ergonómicos já anteriormente referidos.

Quanto ao segundo subprojeto, “Transferência de Caixas”, foi feita uma avaliação quanto aos apoios da secadora que é utilizada no processo para ser feita uma adaptação em que se utilizaria um tapete de transporte de carga. Esse tapete foi selecionado tendo em conta o tipo de carga assim como o espaço reduzido na zona de aplicação. Por outro lado, para ser feita a descarga de peças da secadora para a caixa de transporte é utilizado um funil, porém, e como foi pensado um modo diferente de fazer o carregamento destas caixas (rodar 90 graus), foi desenvolvido um novo funil para aplicação (neste local) por baixo da secadora. Também foi implementado um cilindro pneumático que fará a transição do tapete para a Plataforma elevatória e alguns sensores que serão necessários para deteção da caixa nos vários pontos chave desta movimentação da carga.

Por último, e sendo esta uma proposta automatizada, foi necessário fazer uma seleção de “Barreiras de segurança” físicas e de feixe (laser) para que quando a carga está a ser transportada pelo tapete e elevada pela Plataforma elevatória o operador esteja protegido e não ocorram incidentes.

3.3. Desenvolvimento da Plataforma Elevatória

A plataforma elevatória foi o ponto de partida de todo o projeto e sendo assim já tendo a plataforma definida todo o restante projeto seria em função da mesma. Teve-se como base uma plataforma já pré-desenvolvida por um estagiário anterior, figura 37, (João Gilberto) que tinha começado o projeto, porém na altura terminou o estágio, não tendo avançado o projeto por causa de alguns problemas na morfologia da sua estrutura. O objetivo foi considerar a ideia da estrutura, porém melhorando e otimizando o que não fazia sentido para os objetivos pretendidos.



Figura 37: Protótipo João Gilberto

Os parâmetros considerados inicialmente foram:

- Carga máxima a elevar (caixa de peças) = 25 kg;
- Tempo máximo de curso do patamar mais baixo até ao mais elevado = 20/30 seg;
- Paragem em 10 patamares com distância de 150 mm entre eles.

Tendo em conta estes fatores e considerando que o operador é que empurra a caixa para o carro de transporte, foi desenvolvido e aperfeiçoada ao longo do estágio uma plataforma em que fosse possível também fazer o guiamento do carro para que este ficasse fixo e assim os patamares da plataforma coincidisse sempre no mesmo sítio evitando que a caixa caísse durante a transição da plataforma para o carro. No entanto, como são utilizados 4 carros semelhantes, com algumas diferenças, foi verificado para cada patamar de cada um deles o desnível existente para que quando fosse feita a programação dos patamares da plataforma esta ficasse sempre acima do patamar mais alto, desse modo a caixa faz uma ligeira descida até à prateleira e não existe o risco de bater nas chapas quinadas de guiamento existente nas prateleiras e não encaixar.

3.3.1. Constituição e Caraterísticas Gerais da Plataforma

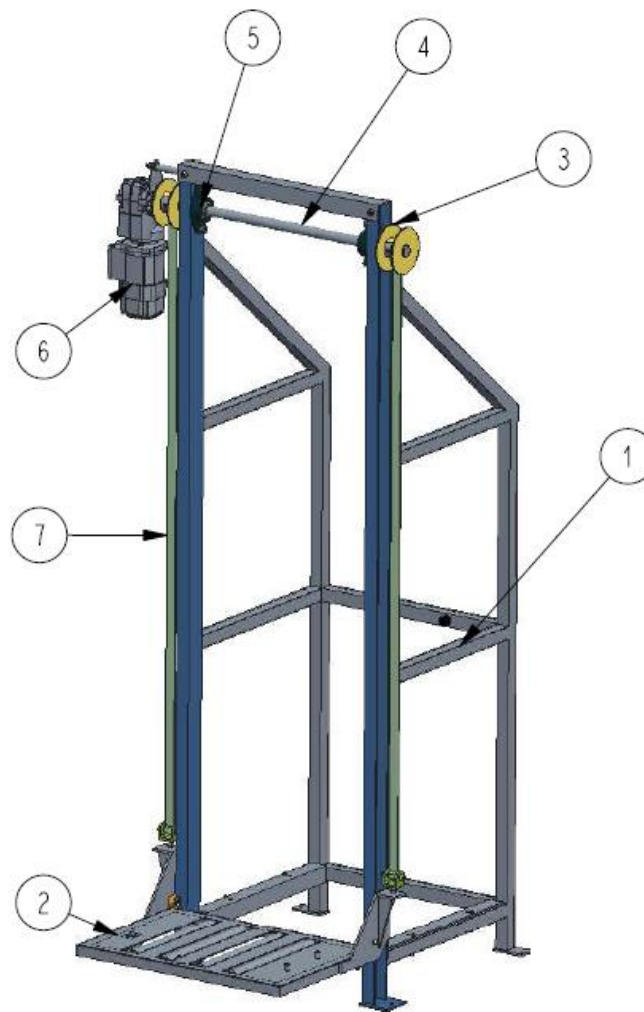


Figura 38: Constituição da Plataforma Elevatória.

- 1 – Estrutura em Aço;
- 2 – Plataforma Móvel;
- 3 – Polia de fixação da cinta;
- 4 – Veio enrolador;
- 5 – Chumaceira de fixação do veio;
- 6 – Moto redutor;
- 7 – Cinta de elevação.

3.3.2. Estrutura em Aço

Tal como foi referido anteriormente, a estrutura em aço, figura 39, foi pensada e desenvolvida de modo que o carro transportador de caixas encaixasse e ficasse guiado na estrutura. Assim, cada patamar fica sempre alinhado e não se corre o risco das caixas num ou noutro patamar não deslizem convenientemente para a sua posição.

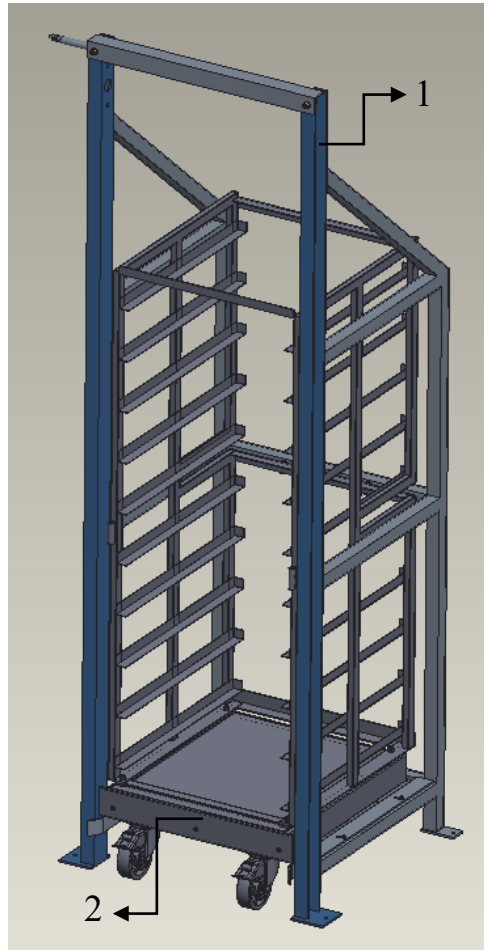


Figura 39: Representação *Creo* da Estrutura em Aço (1-Estrutura em aço; 2-Carro de transporte de cargas).

A Estrutura em Aço é constituída por duas barras UPN [65x42x5,5 mm], onze tubos quadrados [40x40x3 mm], duas cantoneiras com afinação para alinhamento do carro (com a utilização dos rolamentos já existentes no carro), uma cantoneira de sustentação das duas barras UPN, um veio soldado a uma das barras UPN de suporte do moto redutor e dois sinoblocos que servem de batente traseiro ao carro.

Todos estes materiais com exceção dos sinoblocos, são em aço S275 que é um aço normalmente utilizado em estruturas metálicas e normalmente fornecido em chapas com boa resistência e tenacidade tal como é pretendido nesta aplicação.

3.3.3. Plataforma Móvel

A parte móvel da plataforma, figura 40, é a zona em que as caixas se irão posicionar para serem elevadas e posteriormente empurradas para o carro. Foi desenhada de modo que seja o mais pequena possível, pouco maior do que a caixa que irá transportar, e o mais próxima possível do carro para ser facilitada a tarefa do operador na transição.

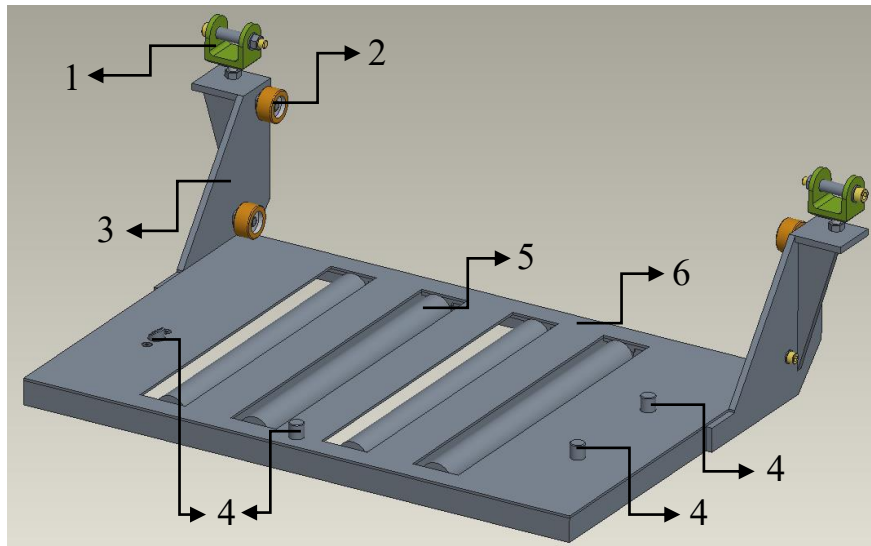


Figura 40: Representação *Creo* da Plataforma Móvel Desenvolvida (1-Peça de fixação de cinta de carga; 2-Rolete de guiamento; 3-Parte estrutural principal; 4-Batentes para a caixa de peças; 5-Rolo para deslize de caixa de peças; 6-Chapa de topo).

A Plataforma Móvel é constituída por uma estrutura principal em aço que sustenta todos os restantes constituintes. É um retângulo em cantoneira (30x30x4 mm) com duas chapas laterais soldadas lateralmente e na zona central com perfis 2 UPN (60x30x6 mm). Também fazem parte desse conjunto quatro rodas que servem de guiamento dessa parte móvel, fixas em quatro pequenos veios que estão aparafusados às chapas laterais. Existem também dois conjuntos de peças desenvolvidos para o acoplamento da cinta que fará a elevação da estrutura e das caixas. Por último, foram adaptados quatro rolos, para reduzir o atrito na fase de transição entre o tapete e a plataforma, com quatro batentes (3 fixos e 1 de mola) para que a caixa fique bem posicionada aquando da sua elevação.

Todos os constituintes em chapa, cantoneira ou perfil são em aço S275 e as restantes peças maquinadas em aço AISI 4337 (comercialmente conhecido como FR3) um aço para aplicações em chapa e tubos estruturais em geral e um aço ao cromo-níquel-molibdénio tratado para aplicações de esforço superior aos aços de construção ao carbono. Este último é significativamente resistente ao desgaste e à fadiga, respetivamente.

3.3.4. Polia de Fixação da Cinta

As duas polias desenvolvidas servem para a fixação das cintas assim como o seu guiamento. Foi desenvolvido tendo como base um sistema semelhante já utilizado no carro de transporte da linha de Niquelagem. O funcionamento é simples: quando o moto redutor acionar o veio enrolador, a polia, fixa a esse veio, faz com que a cinta enrole à sua volta elevando a parte móvel da estrutura.

As Polias de fixação são constituídas por um cubo central e duas abas laterais que são soldadas a esse cubo. Depois foi desenhada uma peça específica que fará o entalamento da cinta contra o cubo fixando-a com a aplicação de dois parafusos de cabeça cônica para não criar um relevo na face da polia e causar desgaste na cinta, representadas na figura 41.

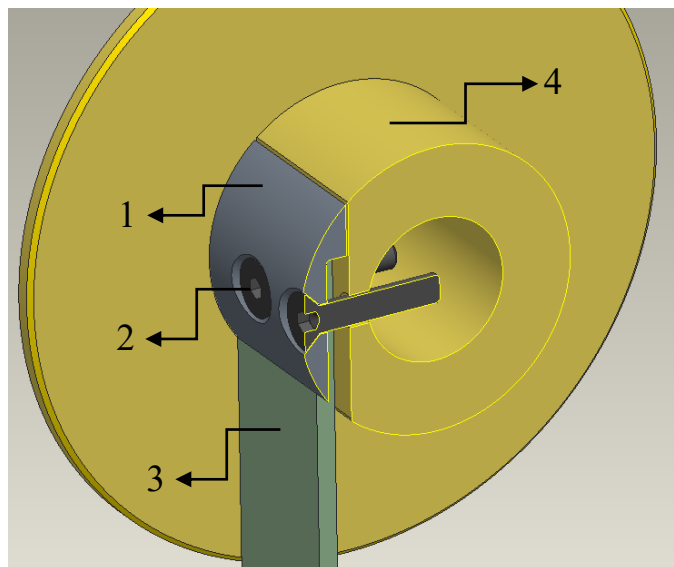


Figura 41: Mecanismo de fixação de cinta (1-Peça de entalamento de cinta; 2-Parafuso de fixação de cinta; 3-Cinta de elevação de carga; 4-Corpo da polia).

Todas estas peças, à exceção dos parafusos, são peças maquinadas em aço AISI 1045 (comercialmente conhecido como F10), um aço de construção de médio carbono que pode ser usado no estado natural ou sujeito a tratamento térmico. Trata-se de um aço com um largo campo de aplicações (órgãos de máquinas, veios e cavilhas, parafusos e porcas, etc), presente em praticamente todas as famílias do sector metalomecânico.

3.3.5. Veio Enrolador

O veio enrolador, figura 42, com aproximadamente 1 metro de comprimento será acoplado ao moto redutor e será o elemento mais solicitado da estrutura, fazendo o enrolamento das cintas assim como suporta parte do moto redutor acoplado a ele por via de uma chave. Tem quatro furos M6 para que os parafusos do conjunto (anteriormente referido, polia) se fixem e façam a transição entre as três peças: polia, cinta e veio. Na

parte onde existe uma redução de diâmetro foi feito também um furo axial que também faz parte do modo de fixação do veio ao motor.

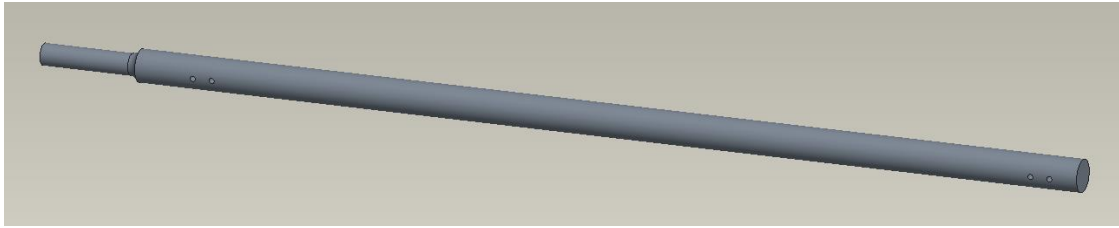


Figura 42: Representação *Creo* do Veio Enrolador.

O veio é, tal como algumas peças já referidas, de aço AISI: 4337 (comercialmente conhecido como FR3) sendo um aço com vastas aplicações em órgãos de máquinas, semi-eixos, veios de torção e flexão, rodas dentadas, sem-fins, cavilhas, parafusos e porcas.

3.3.6. Chumaceira de Fixação do Veio

As duas chumaceiras utilizadas para fixação do veio aos perfis estruturais são unidades de mancais flangeados standard de rolamento UCFL 2 furos (NORELEM), figura 43. São de fácil ajuste e posicionamento no veio e depois aparafusadas aos perfis estruturais para a sua fixação. Permitindo, assim, que o veio faça a rotação, mas, por outro lado, se mantenha estável e limitando o seu movimento axial e transversal.

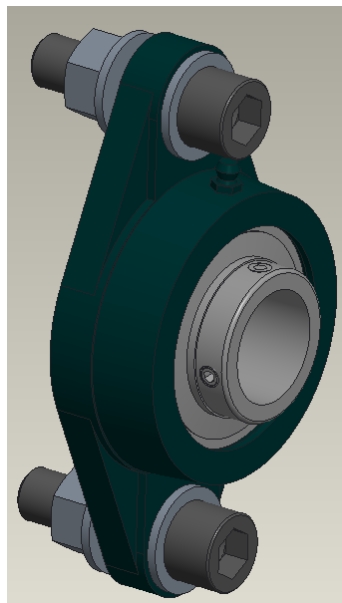


Figura 43: Representação *Creo* da Chumaceira utilizada.

3.3.7. Moto Redutor

O moto redutor utilizado serve para dar rotação ao veio enrolador. É um moto redutor que foi selecionado pela empresa SEW, sendo o seu modelo: KA19/T DRN63MS4/BE03HR/TF, figura 44, para o tipo de aplicação aqui exigida. Com uma Potência de 0,18 kW às 66 RPM, possui também um encoder incorporado para definir o posicionamento da plataforma nos vários patamares do carro.

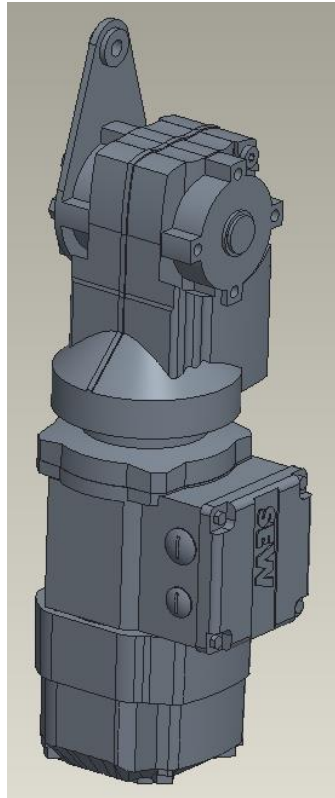


Figura 44: Representação *Creo* do Motor SEW selecionado.

3.3.8. Cintas de Elevação

As cintas de elevação foram selecionadas tendo em conta o comprimento total entre as cavilhas de fixação inferior e as polias superiores posicionadas no veio, cerca de 1900 mm de comprimento e de 30 mm largura. Porém, as cintas teriam que ter um maior comprimento considerando que na posição mais baixa da plataforma móvel decidiu-se que as cintas estariam com duas voltas de segurança, nunca se desenrolando na totalidade. Também o próprio perímetro de enrolamento a cada volta aumenta por causa da própria espessura da cinta. Assim, selecionou-se duas cintas de 3 metros de comprimento para que, se por algum motivo se tenha que adaptar a estrutura, exista uma folga nas cintas.

Tabela 2: Cálculo do perímetro necessário das cintas de elevação de carga.

Volta	Diâmetro da polia + Cinta por volta	Perímetro [mm]
1	60	188,4
2	70	219,8
3	80	251,2
4	90	282,6
5	100	314
6	110	345,4
7	120	376,8
8	130	408,2
9	140	439,6
TOTAL		<u>2826</u>

Tabela 3: Considerações do tipo de polias aplicadas e das cintas.

Diâmetro da Polia [c/2 voltas] [mm]
80
Perímetro da Polia [c/2 voltas] [mm]
251,2
Distância da Polia ao suporte + 2 voltas [mm]
2308,2
Espessura cinta [mm]
5
Comprimento cinta total [mm]
2826

A cinta de elevação foi selecionada na Artfita, figura 45, com capacidade até 3 toneladas, o que é mais do que suficiente para essa aplicação, visto que o peso total da plataforma móvel mais o peso da carga é cerca de 60 kgf.



Figura 45: Cinta de carga selecionada.

3.4. Desenvolvimento da “Transferência de Caixas”

3.4.1. Adaptação da Secadora

Foram analisadas, inicialmente, várias possibilidades do modo como seria feita essa adaptação: suporte de apoio para elevar a secadora (estrutura em tubo), alteração do posicionamento da secadora e adaptação física estrutural da secadora. Após diversas reuniões para debater como se deveria adaptar a secadora, foi decidido que a adaptação passaria pelo corte de uma das barras da sua base e pelo corte de parte de um dos pilares de sustentação da secadora, figura 46. Nesse pilar foi verificado que o seu interior era oco e, desse modo, era possível fazer o corte de cerca de 300 mm de material. Os apoios laterais que a secadora tem na sua constituição passariam assim a estar 300 mm mais altos, porém não comprometendo a segurança da secadora devido à vibração que ela exerce.

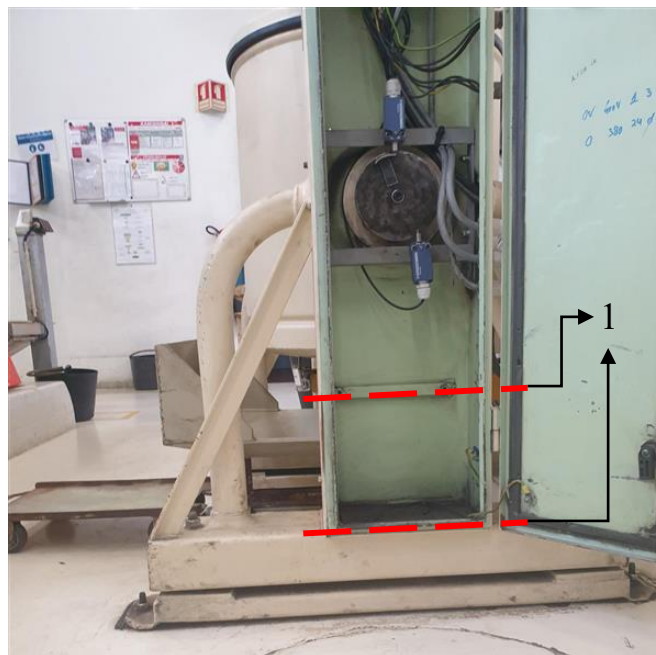


Figura 46: Representação Real da Secadora e Zona de Corte (1-Zona de Corte para adaptação).

Para que a secadora fosse adaptada foi necessário fazer a modelação 3D, que não existia, o mais aproximado às medidas reais para que, quando fosse feito o 2D para pedir orçamento, o serralheiro tivesse todas as medidas chave que seriam de interesse para a adaptação, visto que a secadora teria que sofrer cortes, soldaduras e aplicação de novos materiais.

Consoante o 3D definido, figura 47, e tendo em conta as dimensões do tapete selecionado, foram feitas as adaptações necessárias na secadora. Essas adaptações passaram por fazer o corte e pela implementação de uma estrutura em tubo 150x80x5 mm em “U” invertido para que o tapete passe entre os apoios laterais da secadora ficando um espaço interior de 500x300 mm como é mostrado em anexo (figura 88) (Morais, 2016).

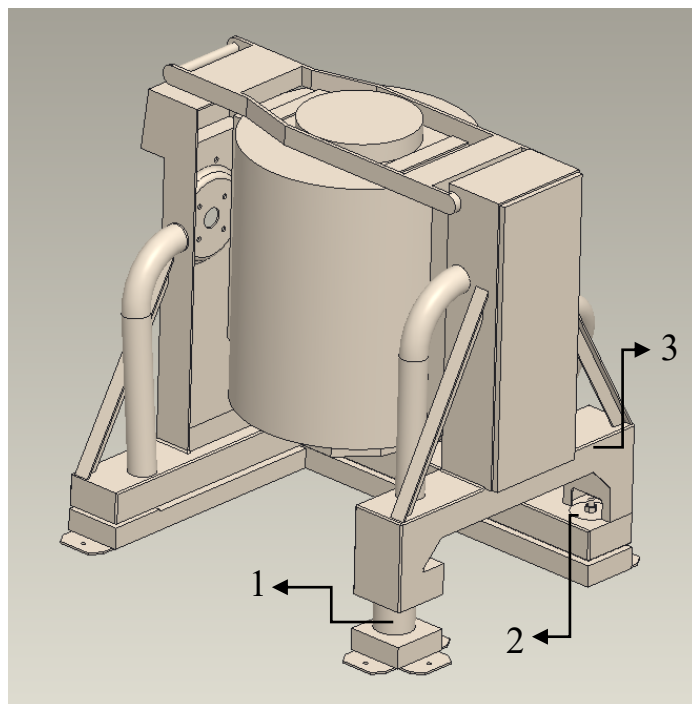


Figura 47: Representação *Creo* do modelo 3D da Secadora (1-Sinobloco 1;2- Sinobloco 2; 3- Estrutura em tubo 150x80x5 mm).

Também foi necessário ter em conta que a secadora é suportada por quatro sinoblocos uma vez que na zona da adaptação, se posicionavam dois deles. Depois averiguou-se a possibilidade de um desses sinoblocos ficar de fora da estrutura (Sinobloco 1), sendo que o outro (Sinobloco 2) ficou na mesma posição que já se encontrava anteriormente, isto é, acoplado ao tubo já existente na estrutura da secadora, como representado anteriormente na figura 46.

3.4.2. Seleção do Tapete de Transporte de Carga

Inicialmente, foram abordados 2 modos de transporte da carga sendo debatidos os prós e contras de cada um deles. O primeiro modo de transporte seria o transporte efetivo da caixa com as peças, fazendo assim o transporte integral da carga para o posterior armazenamento no carro transportador. O segundo modo seria apenas o transporte das próprias peças com o tapete a conter uma tela “vulcanizada” para armazenamento das peças durante o transporte.

Tendo em consideração essas duas propostas, foram pedidos orçamentos a várias empresas segundo todas as condicionantes do projeto, principalmente o espaço reduzido no local. Então, chegou-se a duas propostas em concreto, uma para cada um dos modos de transporte, o transporte de caixa ou o transporte de peças.

A primeira proposta que foi apresentada foi da empresa “Draco”, uma empresa que opera principalmente no mercado nas áreas de Metalomecânica, Metalúrgica e Indústria em geral essa que propôs o tapete representado na figura 48. Seria um tapete de tela com uma inclinação para que passasse por baixo da zona adaptada da sercadora e fizesse o despejo das peças na caixa, dado que essa caixa estaria posicinada vazia já na plataforma que a elevaria.



Figura 48: Proposta de tapete – DRACO.

Quanto à segunda proposta que foi apresentada, desta vez proposta pela empresa “Fluidotronica”, uma empresa revendedora de várias marcas, mas que também tem a sua autonomia e proporciona vários tipos de serviços como, por exemplo, nesta aplicação, fornecer um tapete à medida e com as condicionantes que o cliente pede. O tapete proposto foi um tapete bastante mais simples ao da anterior proposta sendo ele um tapete plano que o seu intuito principal era fazer o transporte das caixas carregadas com as peças (placas de corrente niqueladas), figura 49.

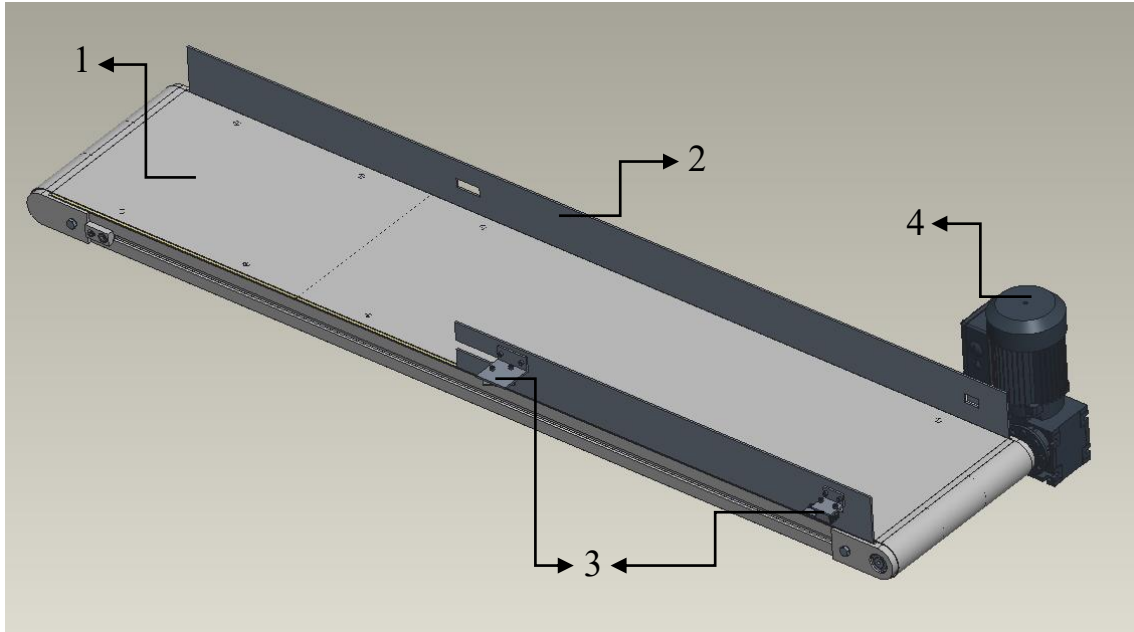


Figura 49: Proposta em *Creo* de tapete Fluidotronica (1-Base do tapete; 2-Guias; 3-Sensores de deteção de caixa; 4-Motor).

Após a apresentação das duas alternativas optou-se pela segunda considerando os orçamentos apresentados pelos fornecedores e a complexidade da primeira alternativa. Apenas foi pedido ao fornecedor que o tapete tivesse uma inclinação de 3 graus para que o transporte da caixa fosse direto à superfície da base da plataforma móvel. Assim, a carga sai diretamente do tapete e fica pronta a ser elevada. Por outro lado, também foram incluídos guias e sensores de deteção de caixa no tapete. Os guias irão assegurar que a caixa seja transportada com a orientação correta até à posição de carga na plataforma. Por sua vez, os sensores foram acoplados aos guias, visto que o primeiro tem a função de detetar a caixa quando o operador faz o seu posicionamento para descarga de peças; quanto ao segundo sensor tem a função de detetar a caixa quando ocorrer a transição do tapete para a plataforma elevatória, assim, este sensor dará informação ao cilindro que pode fazer o avanço e posicionar corretamente a caixa na posição de elevação na plataforma.

3.4.3. Desenvolvimento do Novo Funil

Tendo em vista o novo layout e as alterações pensadas para o problema encontrado, foi necessário desenvolver um novo funil visto que foi alterada a forma como as caixas são carregadas. Foi feita a rotação a 90° da caixa de transporte de peças para que essa prossiga no tapete na horizontal pelo lado direito da secadora, quando anteriormente era feita a carga com a caixa na vertical saindo esta pela parte frontal da secadora. Considerando esse facto, foi necessário adaptar a nova morfologia do funil de modo a que fosse feita a descarga de peças na caixa sem que ocorresse o risco de as peças saírem fora do local, o que seria bastante problemático. O funil atual é de polietileno devido ao facto de ter sido adquirido ao mesmo fornecedor das tinas de tratamento. O novo funil foi projetado ser em aço inox com chapas de 1.5 mm que é suficientemente resistente e robusto para a aplicação em questão, facilitando, assim, a produção do mesmo não tendo um custo muito elevado. Também é um fator importante que a atmosfera da Niquelagem é bastante corrosiva e com a utilização do aço inox o funil pode resistir bastante bem a este tipo de condições. Estão representados na figura 50, a seguir, os 2 funis.

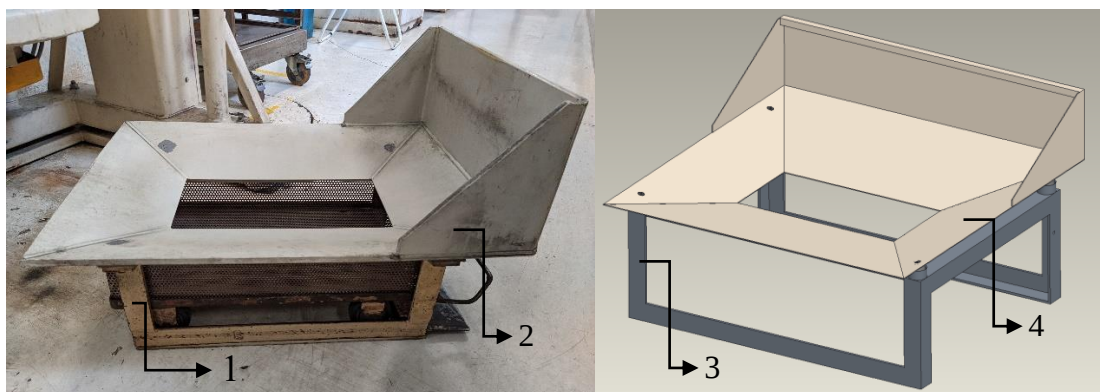


Figura 50: Representação de Funil Atual e Funil Desenvolvido (1-Apoio de Funil Atual; 2-Funil Atual; 3-Apoio de Funil Desenvolvido; 4-Funil Desenvolvido).

Tal como foi desenvolvido um novo funil, também o modo de fazer o seu suporte teve que ser alterado, sendo construído um apoio para o funil com uma estrutura em cantoneira com quatro pontos de apoio e para esses 4 pontos de apoio foi também desenvolvido 4 peças em “POM”. Essas peças estão aparafusadas ao funil com parafusos de cabeça cônica de modo que fiquem à face do funil e as placas niqueladas possam deslizar livremente para a caixa de transporte sem que ocorra problemas. Assim, fica assegurada a fixação do funil com liberdade para o operador o manusear assim que faz a descarga de peças. É de realçar que as laterais do apoio do funil estão libertas para que o tapete de transporte de cargas se posicione por baixo do funil entre os quatro pontos de apoio verticais.

3.4.4. Seleção do Cilindro de Transição Tapete-Plataforma

Para que fosse feita a transição entre o tapete e a plataforma foi necessário selecionar e dimensionar um cilindro que fizesse a colocação exata no local onde a caixa seria elevada. Para isso foi necessário desenvolver uma estrutura de suporte deste cilindro que, depois de debatidos vários cenários em reunião, ficaria acoplada ao tapete transportador, figura 51. Essa estrutura é constituída apenas por seis pequenos perfis e uma chapa de sustentação do cilindro que está acoplada entre o cilindro e os perfis. Na zona de contacto do cilindro com a caixa de peças foi aplicado uma chapa fixa por parafusos de corpo retificado para que existisse movimento de rotação da chapa quando a caixa passa no local. Posteriormente, o sensor associado ao cilindro deteta que a caixa se encontra no local, empurrando-a para a base da plataforma elevatória.

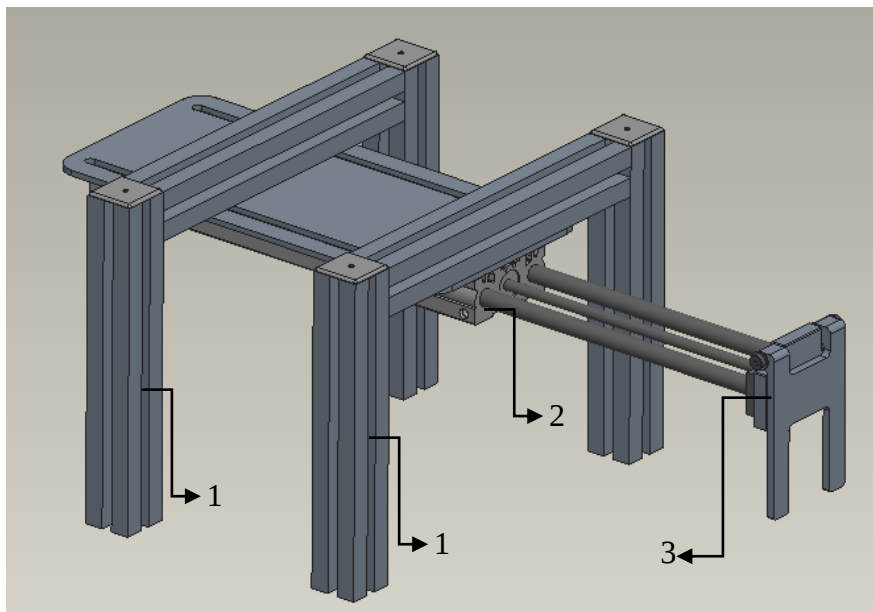


Figura 51: Representação *Creo* do conjunto do cilindro pneumático (1-Estrutura de sustentação; 2-Cilindro pneumático; 3-Conjunto de contacto do cilindro e a caixa de peças).

Quanto ao cilindro em si, foi necessário levar em conta o curso que seria necessário para a caixa ficar bem posicionada, cerca de 350 mm, assim como a capacidade de ar comprimido no local. Assim foi garantido que o cilindro teria força necessária de empurrar a caixa com 25kg de peças. Fez-se então o cálculo segundo a equação 1, que relaciona o coeficiente de atrito estático (considerou-se 0.8 – aço - aço), com o peso da carga, sendo o peso a massa (aqui considerada 25kg) multiplicada pela aceleração da gravidade (9.81 m/s^2) (Caetano, 2010).

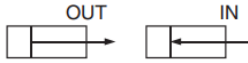
$$F_{\text{atrito_estático}} = \mu_e \times m \times g \quad (1)$$

$$F_{\text{atrito_estático}} = 0,8 \times 25 \times 9,81 = 196,2 \text{ N}$$

À posteriori, foi consultada a tabela 4 do fornecedor do cilindro (SMC) para saber o “Theoretical Output” (Output Teórico) necessário a esta aplicação. A pressão na rede de ar comprimido no local é de 6 bar, porém para efeitos de cálculo foi considerada 5 bar. Tendo em consideração todos esses fatores optou-se então por um cilindro de 25 mm de diâmetro que poderia operar a 4,5 ou 6 bar tendo em conta também, segundo a tabela, que a força exercida é de 196, 245 e 295 N (no modo “OUT”), respetivamente, segundo os valores de pressão na rede.

Tabela 4: “Theoretical Output” do Cilindro pneumático selecionado.

Theoretical Output



Bore size (mm)	Rod size (mm)	Operating direction	Piston area (mm ²)	Operating pressure psi (MPa)									
				29 (0.2)	44 (0.3)	58 (0.4)	73 (0.5)	87 (0.6)	102 (0.7)	116 (0.8)	131 (0.9)	145 (1.0)	(N)
12	6	OUT	113	23	34	45	57	68	79	90	102	113	
		IN	85	17	25	34	42	51	59	68	76	85	
16	8	OUT	201	40	60	80	101	121	141	161	181	201	
		IN	151	30	45	60	75	90	106	121	136	151	
20	10	OUT	314	63	94	126	157	188	220	251	283	314	
		IN	236	47	71	94	118	141	165	188	212	236	
25	10	OUT	491	98	147	196	245	295	344	393	442	491	
		IN	412	82	124	165	206	247	289	330	371	412	
32	14	OUT	804	161	241	322	402	483	563	643	724	804	
		IN	650	130	195	260	325	390	455	520	585	650	
40	14	OUT	1257	251	377	503	628	754	880	1005	1131	1257	
		IN	1103	221	331	441	551	662	772	882	992	1103	
50	18	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1571	1767	1963	
		IN	1709	342	513	684	855	1025	1196	1367	1538	1709	
63	18	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2806	3117	
		IN	2863	573	859	1145	1431	1718	2004	2290	2576	2863	
80	22	OUT	5027	1005	1508	2011	2513	3016	3519	4021	4524	5027	
		IN	4646	929	1394	1859	2323	2788	3252	3717	4182	4646	
100	26	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7069	7854	
		IN	7323	1465	2197	2929	3662	4394	5126	5858	6591	7323	

Note) Theoretical output (N) = Pressure (MPa) x Piston area (mm²)

(1N = 0.22 lbf)

3.5. Desenvolvimento das Barreiras de Segurança

3.5.1. Barreiras de segurança Físicas e de Feixe Laser

De modo a garantir segurança total do operador, e tendo em mente que a maioria dos componentes desenvolvidos está programado para fazer diversas tarefas de forma automática, foi necessário, com o apoio das pessoas responsáveis de higiene e segurança da SRAMPORT, desenvolver barreiras de segurança que envolvesse o sistema. Depois de debatidas as várias possibilidades em reunião, foi decidido que seriam necessárias duas barreiras físicas e uma barreira de feixe laser de proteção ao operador. Na figura 52 está representado o sistema idealizado já com as barreiras implementadas.

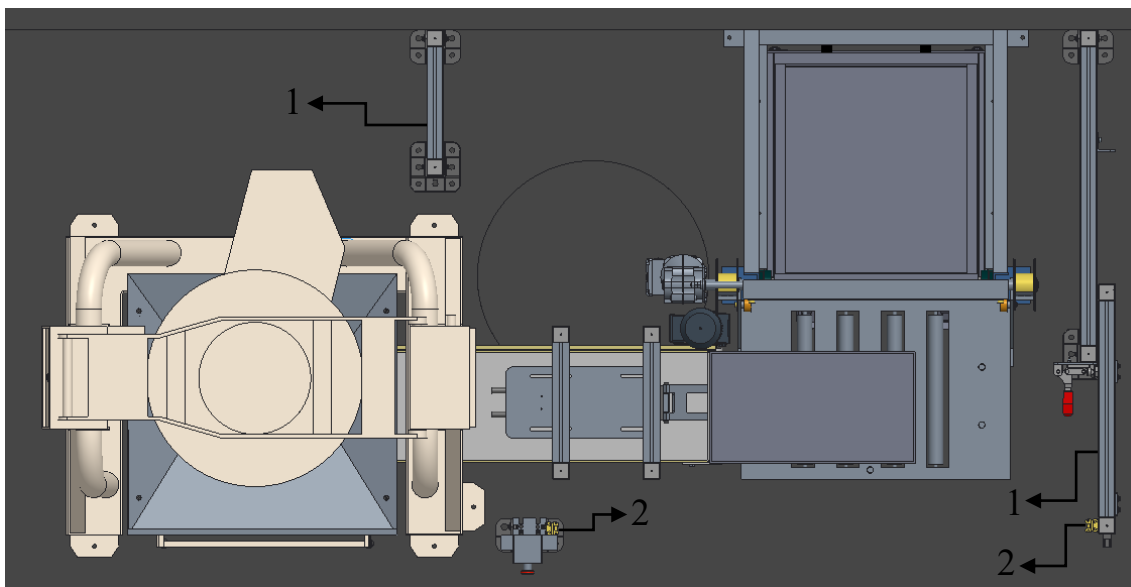


Figura 52: Representação *Creo* da Vista de Topo de Todo o Sistema Com as Barreiras de Segurança (1-Barreiras de Segurança Físicas; 2-Barreiras de Segurança de Feixe Laser).

3.5.2. Barreiras Físicas

Desde logo foi pensado em existir proteções perto da plataforma elevatória levando em consideração se seria o equipamento mais perigoso de todo o sistema e assim sendo prevenir possíveis acidentes que pudessem ocorrer nessa máquina. Para esse efeito foram desenhados e montados 2 tipos de barreiras físicas: uma de carácter móvel (porta de correr) e outra fixa.

Enquadrrou-se essas barreiras devido aos riscos acrescidos durante os movimentos ascendentes ou descendentes da plataforma elevatória sendo eles possível queda da carga ou o eventual entalamento dos braços do operador nos patamares da plataforma elevatória.

3.5.3. Barreira física móvel

Essa barreira foi construída tendo como base perfis de alumínio 45x45 mm da “minitec” e placas de policarbonato, porém, como na zona que é aplicada a barreira também é uma zona onde o carro de transporte de cargas tem que se deslocar, foi criada uma estrutura em que o operador pudesse abrir a porta ou fechar consoante a tarefa que pretendesse realizar. Assim, e com a utilização de um elemento deslizante standard fixo aos perfis de alumínio, foi possível a construção de uma porta deslizante.

Decidiu-se que a sua localização na lateral direita da plataforma elevatória e encostada à parede da Niquelagem para quando não se pretender que a porta esteja aberta, esta fica arrumada perto da parede não obstruindo o local de trabalho do operador.

3.5.3.1. Constituição da Barreira Física Móvel:

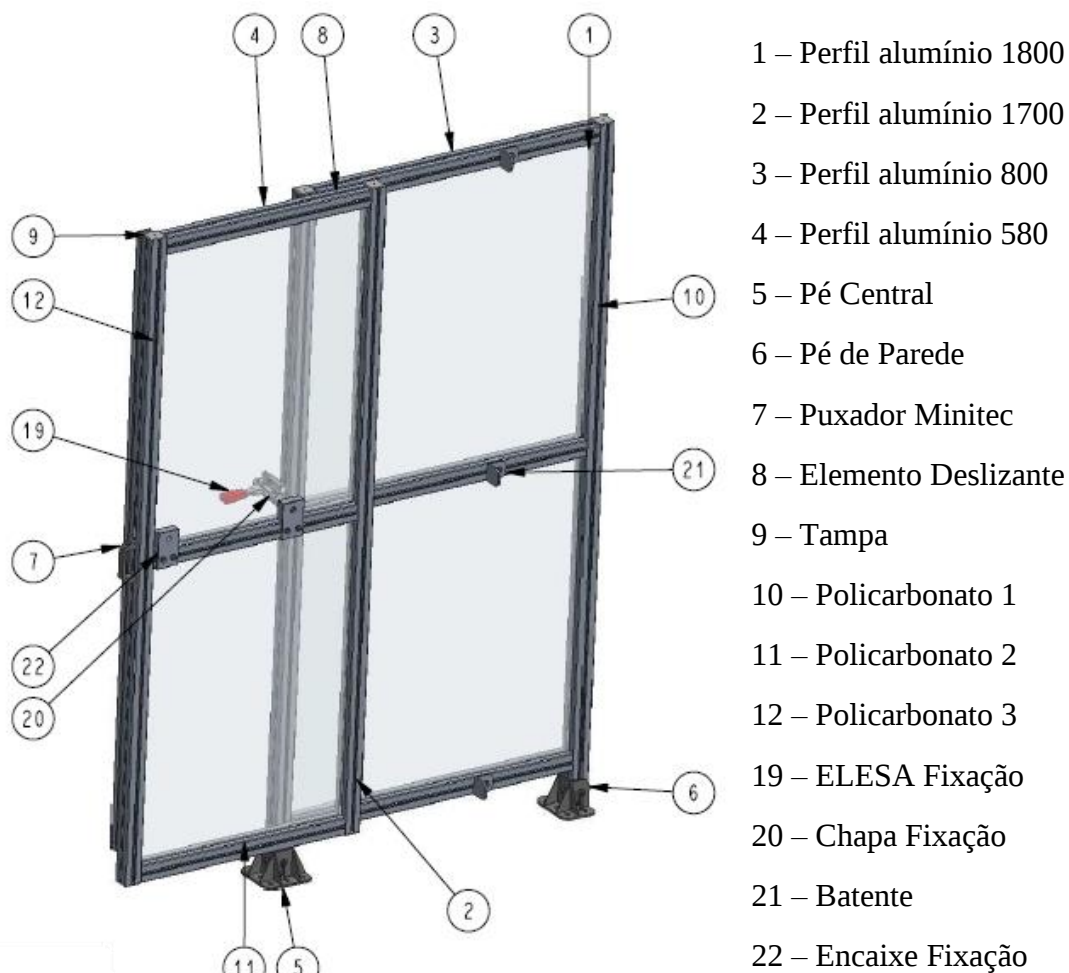


Figura 53: Constituição da Barreira Física Móvel.

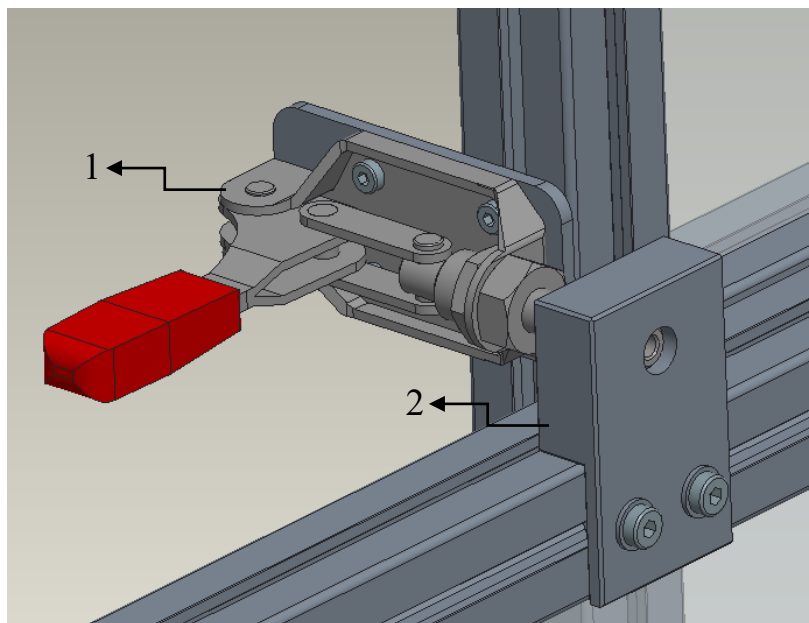


Figura 54: Representação *Creo* do Sistema de Travagem da Porta Deslizante (1-Clamp ELESAS; 2-Peça de Encaixe de Alumínio).

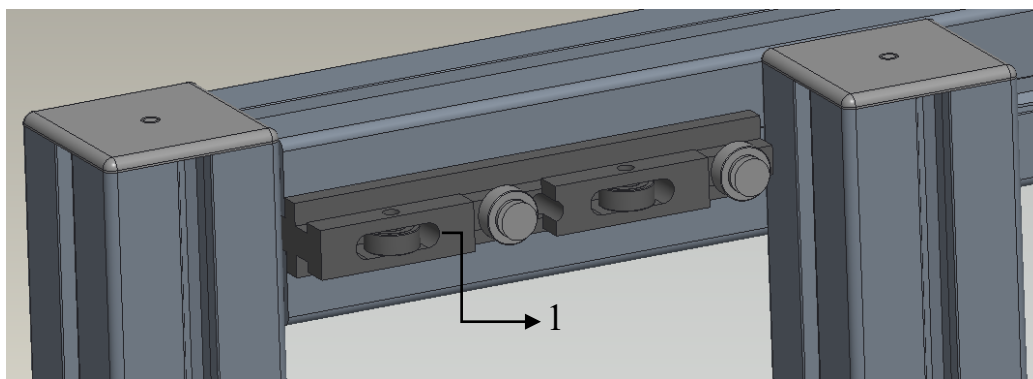


Figura 55: Representação *Creo* do Sistema de Deslizamento (1-Elemento Deslizante MINITEC).

O funcionamento da barreira móvel é simples. Quando o operador quiser transportar ou posicionar o carro de transporte apenas tem que utilizar o Clamp selecionado para essa aplicação (ELESA GN 841.300-AS, figura 54) para destrancar a porta e deslizá-la para trás e assim já obtém o espaço que necessita. Esse Clamp tem duas posições possíveis de fixação da porta e é acoplado a uma peça em alumínio furada para este mesmo acoplamento, figura 53. Esse deslize é possível devido a uma peça standard selecionada na Minittec, figura 55, que é normalmente utilizada para este tipo de aplicações (Glide-roll element parallel - 21.1714/0).

3.5.4. Barreira Física Fixa

Nesse caso a barreira foi construída tendo como base novamente os perfis de alumínio 45x45 mm da “minitec” e uma placa de policarbonato, porém, nessa zona como já não é necessário mover ou alterar o posicionamento da barreira regularmente, ela apenas está aparafusada ao chão para não permitir ao operador deslocar-se para uma zona de risco.

Quanto à localização dessa barreira foi determinado que ficaria entre a secadora e a parede, protegendo, assim, a lateral esquerda da plataforma elevatória. Esse posicionamento deve-se, principalmente, à existência de uma caixa de água perto da zona onde se encontra a plataforma elevatória e, por esse fator, não é possível aproximar mais a barreira. Essa caixa de água necessita de ter acesso uma vez por ano e assim quando se tiver de efetuar manutenções nessa zona, simplesmente essa barreira é desaparafusada do chão, dando assim acesso a zona em questão.



Figura 56: Constituição da Barreira Física Fixa.

3.5.5. Barreiras Feixe Laser

De seguida, o local que foi considerado foi a zona do tapete que transportaria a caixa de peças e a zona frontal da plataforma elevatória. Aí foi projetado um feixe laser, figura 57, considerando que o operador tem que estar perto desse local quando fizer a carga ou descarga da prateleira do carro transportador, logo, não poderia ser colocada uma barreira física.

Decidiu-se então optar-se por uma barreira de feixe laser com 1600 mm de altura (F3SG_4RE1630P30 - OMRON), acopladas por um lado, à porta e por outro a um pilar de alumínio 90x45 mm onde também se localiza a consola de comandos de todo o sistema.

Assim quando o sistema está em andamento, seja o tapete a fazer o transporte da carga ou a plataforma a fazer a sua elevação, essa barreira é ativada e o operador fica sempre protegido. Ora, se eventualmente o operador ultrapassar o limite definido para o laser, o movimento do sistema é interrompido imediatamente.

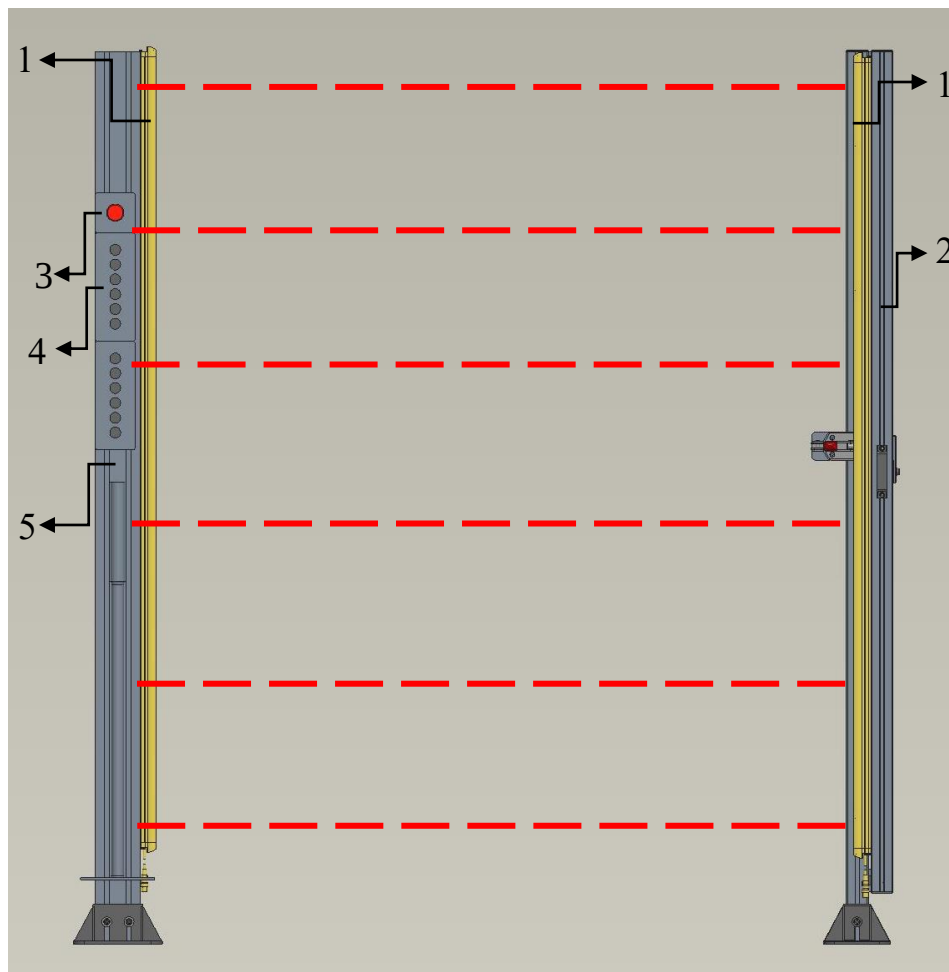


Figura 57: Representação Creo da Barreira de Feixe Laser (1-Barreras Feixe Laser; 2-Barreira Física Móvel; 3-Botão de Emergência; 4-Consola de Comando do Sistema; 5-Pilar 90x45 mm).

3.6. Novo Modo de Operação

Com a aplicação do projeto explicado anteriormente pretende-se que o operador melhore o seu desempenho na secção da Niquelagem e que faça menos esforço durante as operações em que tem que fazer o manuseamento das cargas de peças Niqueladas. Assim sendo, a alteração proposta passa pela elevação automática das cargas retirando aí ao operador possíveis problemas de ergonomia que poderia vir a sofrer tendo em conta o número de vezes que repete a tarefa de elevar as cargas atualmente.

Atualmente, as tarefas realizadas pelo operador na Niquelagem são: carregamento de baldes de peças e seu transporte, carregamento do tambor da Linha de Niquelagem, carregamento e descarregamento da secadora, transporte e elevação da caixa de peças Niqueladas para o carro transportador, controlo de peças Niqueladas, posicionamento do carro transportador com 16 a 20 cargas na estufa e descarga das peças do carro após desclassificação para os contentores. Encontra-se em anexo (figura 95) de forma esquemática todas estas operações e na figura 58 todo o sistema idealizado.

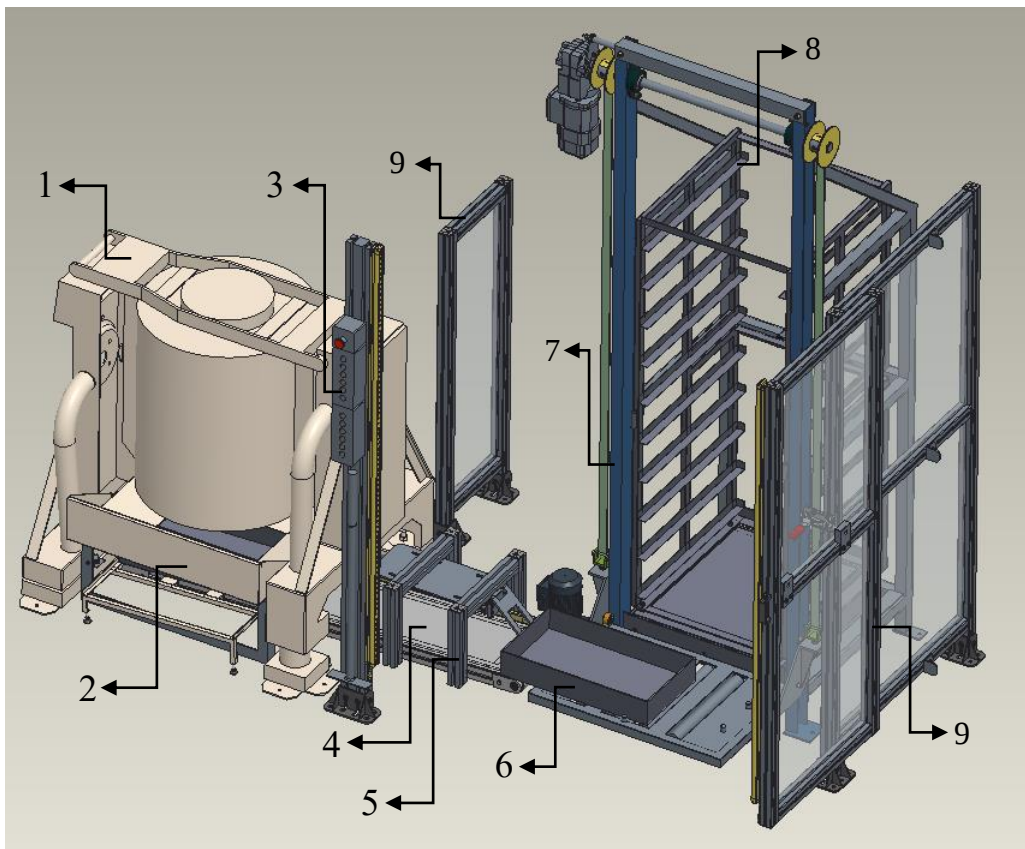


Figura 58: Representação *Creo* de Todo o Sistema (1-Secadora; 2-Funil; 3-Consola de Comandos; 4-Tapete Transportador; 5-Estrutura e Cilindro de Transição; 6-Caixa de Peças Niqueladas; 7-Plataforma Elevatória; 8-Carro Transportador; 9-Barreiras de Segurança).

Com a implementação do projeto realizado, pretende-se que sejam diminuídas as tarefas de manuseamento das cargas tendo em conta, como já foi dito, que as cargas se caracterizam por serem bastante pesadas (máximo 25 kg), de difícil manuseamento (falta de pegos) e sendo manipuladas à distância do tronco provocando flexão ou torção do tronco. A forma como será feita essa elevação é automática, tendo o operador apenas de selecionar o patamar pretendido na consola que se posiciona no pilar logo ao lado da secadora, ficando a carregar apenas 5 segundos nesse mesmo botão selecionado. Após essa seleção, dá-se início à transferência da carga desde a secadora até ao patamar selecionado por via do tapete e posteriormente da plataforma elevatória. A estrutura elevatória irá permitir ao operador eliminar essa tarefa de elevação de carga tendo apenas de fazer a transição da superfície dos 4 rolos para as prateleiras do carro transportador. Desse modo, irá ser facilitada a tarefa de posicionar as cargas não comprometendo nem o fluxo da secção da Niquelagem, em termos de tempos de operação e distância percorrida pelas cargas, nem o operador que, por outro lado, ficará mais disponível fisicamente para realizar o resto das tarefas que lhe são atribuídas. Para reposição da caixa vazia no local de carga (secadora), o operador terá que dar ordem à plataforma para se deslocar para o patamar 0 (de carga), retirando assim uma das caixas vazias que se encontram no carro transportador.

Existem 2 tipos de barreiras de segurança sendo que a de feixe laser funciona de modo automático e ativa-se sempre que o sistema está em movimento seja aquando da movimentação do tapete, do cilindro ou da própria plataforma móvel. Quanto à barreira física móvel, está projetada para quando necessária a retirada do carro carregado com cargas, essa seja facilmente empurrada pelo operador depois de desacoplar o “clamp” da porta fazendo-a deslizar em direção à parede. Também é de realçar que quando o operador fizer este movimento, a parte móvel da plataforma já deverá estar posicionada no topo e assim permitir ao carro passar por baixo desta. Quando o operador voltar a colocar um carro transportador vazio, deverá puxar a porta e fazer o acoplamento com o “clamp” novamente para a sua posição inicial de segurança.

3.6.1. Esquema de operações alteradas com implementação do projeto

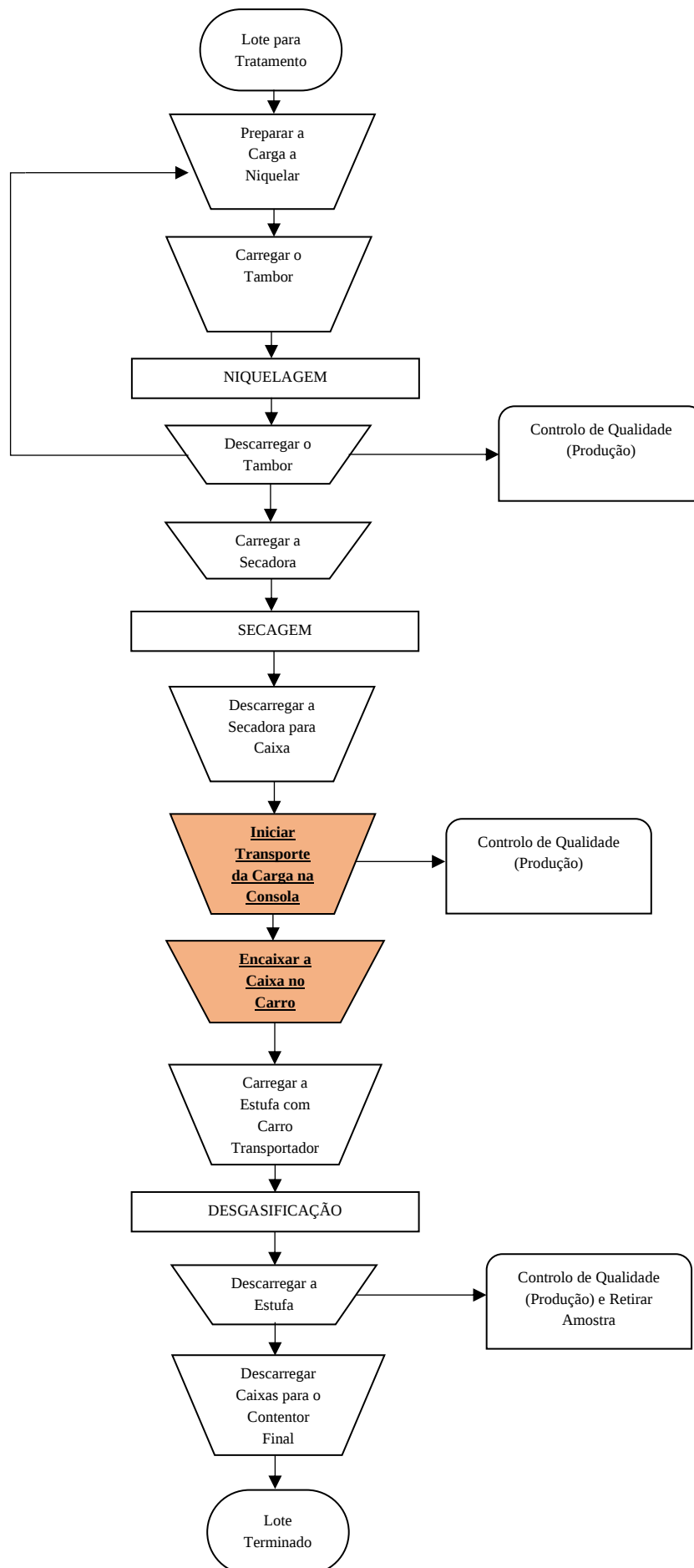


Figura 59 - Esquema de operações alteradas com implementação do projeto.

4. ESTUDOS TEÓRICO-PRÁTICOS DE VALIDAÇÃO DA PLATAFORMA ELEVATÓRIA

4.1. Introdução

De modo que toda a estrutura da plataforma elevatória esteja em conformidade com as exigências a nível mecânico a que vai ser submetida, foram feitos vários estudos teórico-práticos para validação das peças consideradas críticas que estão sujeitas a determinados esforços mecânicos provocados pela carga a elevar.

Depois de feita uma análise geral do modo como o material iria reagir aos esforços, foram estudadas analiticamente 2 peças consideradas críticas da estrutura. Analisou-se primeiramente o veio enrolador e os fusos de acoplamento da peça de suporte das cintas à chapa da estrutura móvel.

Por outro lado, também foi feito um estudo de CAE (Cálculo Assistido por Computador) com a ferramenta Simulation do Solidworks, com a utilização do Método dos Elementos Finitos no que diz respeito apenas ao conjunto móvel da plataforma. Nesse estudo foram analisados a tensão a que a plataforma está submetida assim como o deslocamento visto que a inclinação provocada pelo peso das cargas não pode ser muito elevada para não haver o risco de queda da caixa quando está a ser feita a elevação da mesma.

4.2. Cálculos Analíticos de dimensionamento veio e eixo

Foram feitos 2 estudos analíticos distintos levando em consideração as peças consideradas mais solicitadas mecanicamente.

Para cada um dos estudos foi feita uma abordagem do ponto de vista de Resistência dos Materiais de forma analítica e foram esquematizados os problemas para que se tenha uma visão mais pormenorizada dos esforços a que a estrutura está sujeita.

No primeiro estudo foi dado mais ênfase à fadiga que o veio estará sujeito tendo em conta que é um componente que estará diariamente a ser solicitado. No segundo estudo foi dada uma maior atenção à carga máxima a que o fuso M10 estará sujeito visto que a sua morfologia não inclui alterações de secção e o esforço terá mais influência nesse caso é o esforço de tração.

Foi considerada a carga máxima de 60 kg considerando o peso das chapas em aço e os rolos que constituem a parte móvel da plataforma [equivalente a cerca de 30 kg], somado à carga que se pretende elevar as caixas de placas de corrente [equivalente a 30 kg].

4.2.1. Estudo 1 – Veio Enrolador

O primeiro estudo que foi feito é relativo ao veio enrolador da estrutura que é o elemento que é mais solicitado visto que, está tanto acoplado ao moto redutor que o faz rodar tanto às polias que fixam as 2 cinta que fazem com que a parte móvel da plataforma suba ou desça consoante o caso. Estão representados os componentes relativos a este estudo na figura 60.

Posto isto, foram considerados para este estudo os 60 kg de carga máxima divididos pelas 2 cintas, porém, para sujeitar o material a ainda mais esforço, decidiu-se aplicar também o peso próprio do moto redutor, 12 kg. (Sendo que, na realidade, boa parte desses 12 kg estão a ser suportados por um outro veio mais pequeno que está soldado à estrutura em aço).

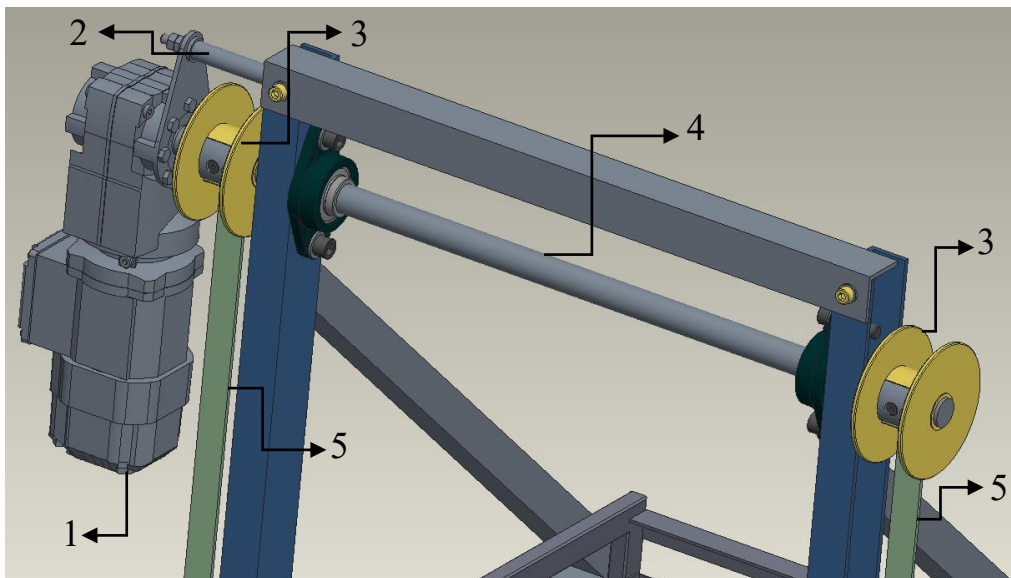


Figura 60: Representação *Creo* das peças relativas ao 1º estudo (1-Moto redutor; 2-Veio suporte; 3-Polias; 4-Veio enrolador; 5-Cintas de elevação.).

Será considerado um coeficiente de segurança de 1,67, tendo sido feito uma abordagem à carga máxima de 100/60 kg para que se tenha bastante margem e o veio não seja levado aos limites de cedência durante a sua utilização.

4.2.1.1. Distribuição de forças

Inicialmente é necessário executar um esquema básico de distribuição de forças (diagrama de corpo livre representado abaixo) no veio para verificar onde é que existe maior tensão e assim poder ser avaliado se este está bem dimensionado ou não consoante essa análise de tensões. Para além de uma análise estática, foi feita também uma análise do ponto de vista da fadiga, dando importância que a estrutura irá ser continuamente submetida a diversos esforços devido à quantidade elevada de vezes que irá ser utilizada para elevar a carga. A seguir representam-se os pontos chave deste estudo, figura 61.

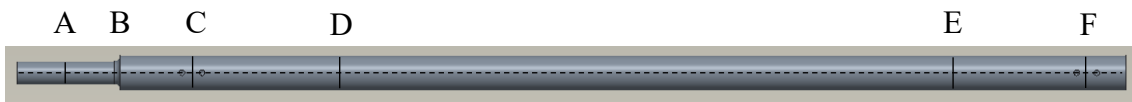


Figura 61: Pontos chave do estudo no veio enrolador.

Tabela 5: Tabela de distâncias entre pontos chave do veio enrolador.

Pontos	Distância [mm]
A-B	92
B-C	64
C-D	86
D-E	625
E-F	85

Para ser feita a análise estática dos esforços começou por ser feito o Diagrama de Corpo Livre (figura 62) do veio com todas as forças que estão aplicadas: peso do motor, forças provocadas pelas cintas de elevação e o Momento Torsor causado pelo moto redutor.

Diagrama de Corpo Livre

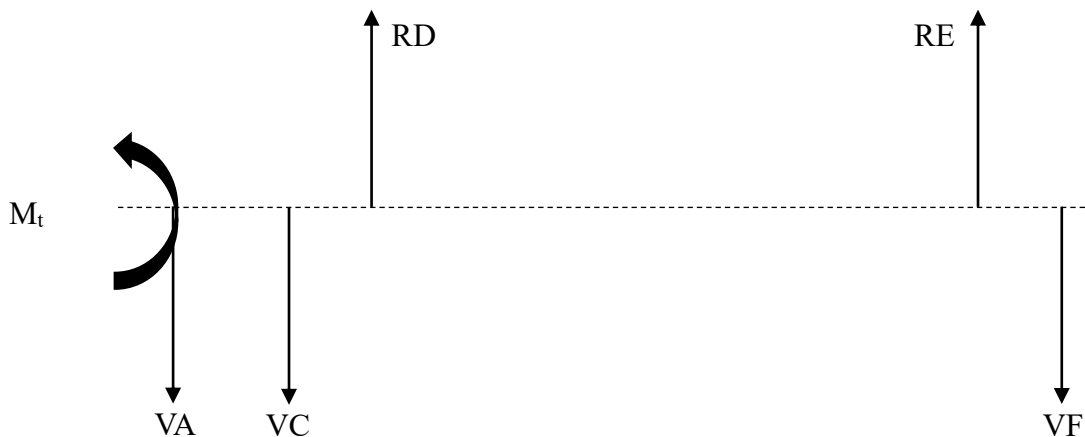


Figura 62 - Diagrama de Corpo Livre.

Feita a análise de esforços ao veio, foram calculadas as forças de reação em D e em E que são os locais onde estão aplicadas as chumaceiras, contrárias às forças Verticais A, C e F, essas que representam o peso do motor e a força das cintas de elevação, respetivamente. Sendo assim, vem o seu cálculo segundo as equações (2 e 3) e os diagramas de estática em apêndice, tendo sempre presente a 2ª Lei de Newton: “A resultante das forças que agem sobre um corpo de massa constante dá-se pelo produto dessa mesma massa pela aceleração resultante.”

$$Fr = m \times a \quad (2)$$

$$P = m \times g \quad (3)$$

Aplicada essa lei obteve-se assim as forças “Vertical A, C e F”:

$$VA = 12 \times 9,81 = 117,7 \text{ N}$$

$$VC = VF = 30 \times 9,81 = 294,3 \text{ N}$$

4.2.1.2. Forças de Reação das chumaceiras

Procedeu-se, a seguir, ao cálculo das reações causadas pelas chumaceiras sendo que para esse efeito de cálculo, não se considera forças no eixo X visto que todas as forças a que o veio enrolador está sujeito são verticais. Por outro lado, o somatório dos momentos foi calculado tendo como referência o ponto A representado anteriormente.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum MA = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 117,7 + 294,3 + 294,3 = R_D + R_E \\ -294,3 \times 156 + R_D \times 242 + R_E \times 867 - 294,3 \times 952 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 706,3 - R_D = R_E \\ -45910,8 + R_D \times 242 + (706,3 - R_D) \times 867 - 280173,6 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_E = 248,3 \text{ N} \\ R_D = 458,1 \text{ N} \end{cases}$$

Após todos os cálculos anteriores foi reunida em tabela 6 todas as Forças em N a que o veio enrolador está sujeito:

Tabela 6: Tabela de Forças aplicadas ao veio enrolador

Designação de Forças	Forças [N]
Vertical A	117,7
Vertical C	294,3
Reação D	458,1
Reação E	248,3
Vertical F	294,3

Por outro lado, quanto ao Momento Torsor causado pela transmissão de movimento ao veio enrolador por parte do Moto redutor, também foi tido em conta para esta análise, tendo sido calculado pelas equações (4 e 5) da Força Transmissível que relacionam a Potência do motor, em W, com a Velocidade de Rotação do mesmo, em RPM (Paulino e Antunes, 2019). As características do motor selecionando pela SEW encontram-se em anexo (figura 89).

Força transmissível e Momento Torsor:

$$F_t = \frac{M_t}{r} = \frac{60 \times P}{\pi \times d \times n} \quad (4)$$

$$M_t = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times n} \quad (5)$$

$$M_t = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times n} = \frac{60 \times 0,12 \times 10^3}{2 \times \pi \times 63} = 18,189 \text{ N.m} = 18189 \text{ N.mm}$$

4.2.1.3. Determinação do Momento Fletor Máximo no veio

Com todas as forças já conhecidas, foi determinado o local onde o momento fletor é máximo para que seja avaliada a zona crítica da estrutura onde a tensão é mais elevada. As equações de primitivação dos esforços cortantes encontram-se em apêndice assim como o diagrama de Momentos Fletores. A partir do diagrama pôde concluir-se que o Momento Fletor máximo ocorre no ponto D, precisamente numa das chumaceiras, com o valor de 53793,2 N.mm. Era espectável que assim acontecesse tendo presente que não só foi aplicado a força causada pela cinta de fixação, como também o peso do moto redutor, e assim o esforço fica mais visível nessa chumaceira do ponto D.

Tabela 7: Momentos Fletores dos pontos de interesse do veio.

Pontos de interesse	Momento Fletor [N.mm]
A	0
B	$10,828 \times 10^3$
C	$18,361 \times 10^3$
D	$53,793 \times 10^3$
E	$25,015 \times 10^3$
F	0

Também se considerou os outros pontos chave onde ocorrem alterações geométricas do veio para que seja feita posteriormente a análise de fadiga ao veio enrolador. Assim, foi reunida na tabela anterior 7 os vários valores de Momentos Fletores nos pontos de interesse para o estudo.

4.2.1.4. Tensões e dimensionamento

Foi feita a análise sob dois pontos de vista das tensões no veio enrolador: primeira, o cálculo da tensão máxima e o dimensionamento mínimo do veio enrolador considerando-o apenas como um todo, maciço e sem alterações de geometria; segunda, o cálculo do dimensionamento do veio enrolador tendo em conta as diferentes alterações geométricas que lhe são conferidas como a redução de diâmetro no ponto B ou os furos presentes nos pontos C e F o que leva assim à identificação da Tensão Admissível de Fadiga.

4.2.1.5. Tensão máxima

Para o cálculo da tensão máxima a que o veio enrolador estaria sujeito, foi considerado o diâmetro mínimo de 20 mm que é, na realidade, o diâmetro que está aplicado à zona de acoplamento do veio com o moto redutor. Assim sendo obteve-se a tensão máxima de 68,5 MPa segundo a equação 6 da tensão máxima para uma secção circular (Paulino e Antunes, 2019). O $Mf_{máx}$ é 53793,2 N.mm, o $y_{máx}$ é a máxima distância do eixo do veio à sua superfície, neste caso 10 mm e o I_x é o momento de inércia associado à secção do veio, 7853,98 N.mm⁴, estando o seu cálculo em apêndice.

$$\sigma_{máx} = \frac{Mf_{máx} \times y_{máx}}{I_x} \quad (6)$$

$$\sigma_{máx} = \frac{53793,2 \times 10}{7853,98} = 68,5 \text{ MPa}$$

Foi feito também o dimensionamento mínimo para uma situação limite de cedência do material, e sendo que o veio é um aço AISI: 4337, com uma tensão de cedência de 900 MPa obteve-se o diâmetro maior ou igual a 8,5 mm (Paulino e Antunes, 2019).

$$\sigma_{máx} = \frac{Mf_{máx} \times y_{máx}}{I_x} \leq 900 \text{ MPa}$$

$$\Leftrightarrow \frac{53793,2 \times \frac{D}{2}}{\frac{\pi \times D^4}{64}} \leq 900 \text{ MPa}$$

$$\Leftrightarrow D \geq 8,5 \text{ mm}$$

4.2.1.6. Tensão admissível de fadiga

A fadiga é uma das causas mais comuns de rotura em engenharia. A rotura por fadiga resulta do crescimento de fendas em componentes sujeitos a carregamentos cíclicos. Neste caso foi aplicado ao veio o conceito de fadiga visto que é um componente da estrutura que é o mais solicitado e várias vezes ao longo da utilização da plataforma (Pereira, 2006).

Sob outro ponto de vista diferente do da tensão máxima, começou por ser calculada a tensão admissível de fadiga levando em conta todas as condicionantes aplicadas ao problema como a tensão de rotura do veio, o tipo de esforço de flexão, o tipo de acabamento do veio, a temperatura de operação ou a fiabilidade, todas elas associadas a coeficientes (k) que foram consultados no formulário da unidade curricular órgãos de máquinas, equação 7 (Paulino e Antunes, 2019).

$$\sigma_f = (k_c \times k_s \times k_{ta} \times k_t \times k_{fs}). \sigma_{f0} \quad (7)$$

$$\sigma_{f0} = 1100 \times 0,5 = 550 \text{ MPa}$$

$$k_c = 1 - [\text{flexão rotativa}]$$

$$k_s = 4,51(1100)^{-0,265} = 0,705 - [\text{acabamento superficial maquinado}]$$

$$k_{ta} = 1,24(30)^{-0,107} = 0,862 - [\text{arbitrado } 30 \text{ mm}]$$

$$k_t = 1,0033 - [30^\circ\text{C} - \text{interpolado}]$$

$$k_t = 0,814 - [\text{fiabilidade } 99\%]$$

Depois de consultados e aplicados todos os fatores obteve-se a tensão admissível de fadiga de 273 MPa (equação 7) (Paulino e Antunes, 2019).

$$\sigma_f = (1 \times 0,705 \times 0,862 \times 1,0033 \times 0,814) \times 550 = 273 \text{ MPa}$$

4.2.1.7. Dimensionamento aplicando a solução de "Soderberg"

Posteriormente à aplicação da fórmula anterior para o cálculo da tensão admissível de fadiga foi aplicado a solução de Soderberg, equação 8, tendo em mente que estamos a estudar uma seção circular e com a aplicação desta solução é facilitado e acelerado o cálculo dos diâmetros mínimos admissíveis para o veio enrolador (Paulino e Antunes, 2019).

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_{ft} \times M_{ta}}{\sigma_f} + \frac{k_{tt} \times M_{tm}}{\sigma_c}\right)^2 + \left(\frac{k_{ff} \times M_{fa}}{\sigma_f} + \frac{k_{tf} \times M_{fm}}{\sigma_c}\right)^2}} \quad (8)$$

De notar que os pontos aqui considerados para o cálculo são os pontos em que ou existem alterações da secção ou furos como nos pontos B e C, respetivamente, ou porque o momento fletor a que o veio está sujeito é máximo, no ponto D.

Foram reunidos na tabela 8 os diâmetros mínimos obtidos segundo a aplicação da solução de “Soderberg”, encontrando-se em apêndice todos os cálculos efetuados assim como os fatores de concentração de tensões estáticos para cada um dos diferentes pontos críticos.

Tabela 8: Dimensionamento dos pontos críticos identificados do veio.

Pontos Críticos	Diâmetro mínimo [mm]
B	9,99
C	13,40
D	14,99

4.2.1.8. Conclusões

Relativamente aos valores obtidos no estudo de fadiga no veio enrolador, é de salientar que o ponto em que o veio é mais solicitado é no ponto D na chumaceira de fixação e por isso o diâmetro mínimo obtido aí foi superior aos pontos B e C (cerca de 15 mm), apesar da alteração de geometria no ponto B e da zona dos em que o veio é furado no ponto C. Nessa zona, o diâmetro arbitrado para o veio fica sobredimensionado não correndo o risco de ceder tendo o dobro do diâmetro comparando com o valor obtido neste estudo de fadiga no ponto em que o momento fletor é máximo (30 mm para 15 mm obtido no ponto D).

4.2.2. Estudo 2

O segundo estudo analítico que foi realizado é relativo ao eixo que faz parte da constituição da peça onde é acoplada a cinta, mas na parte inferior da plataforma, figura 63. Esta sendo uma peça maquinada, foi utilizado o mesmo aço que o do veio enrolador, o aço AISI 4337 (comercialmente conhecido como FR3) no corpo da peça. É um aço com bastante resistência à tração e à flexão tendo como tensão de cedência de 900 MPa. Quanto ao eixo M10 em estudo foi escolhido um fuso de classe de resistência 12,9 o que corresponde a uma tensão de cedência máxima de 1080 MPa.

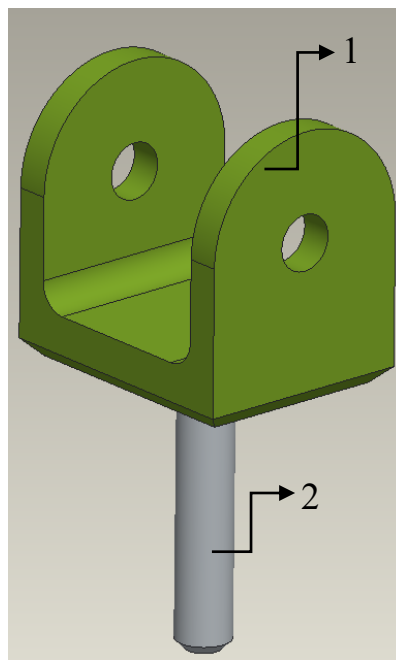


Figura 63: Representação em *Creo* da peça em estudo (1-Corpo da Peça; 2-Eixo M10 em estudo).

Esse estudo é a aplicação do ponto máximo de elevação da plataforma, ou seja, quando o operador fizer a remoção do carro do interior da estrutura, sendo que o carro passará por baixo da estrutura móvel da plataforma. Nesta fase a cinta está enrolada ao máximo na polia causando uma força neste eixo tanto axial como transversal (segundo o ângulo causado pela cinta enrolada) o que leva a peça em estudo a esforços tanto de tração como de flexão.

Nesse caso é considerada na mesma os 60 kg de carga sendo que aqui, como a estrutura é simétrica e estão 30 kg aplicados em cada cinta, considera-se para efeitos de cálculo apenas os 30 kg de solicitação. A seguir representa-se de forma esquemática o estudo 2, figura 64.

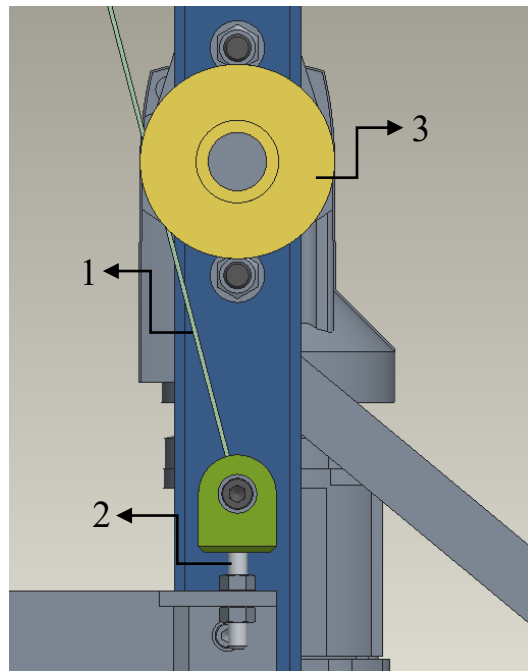


Figura 64: Representação esquemática em *Creo* do estudo 2 (1-Cinta de Elevação; 2-Eixo M10 em estudo; 3-Polia de Fixação de Cintas).

4.2.2.1. Distribuição de forças

Inicialmente, tal como no estudo anterior, é necessário executar um esquema básico de distribuição de forças (figura 65) no eixo para verificar onde é que existe maior tensão e assim poder ser avaliado se este está bem dimensionado ou não consoante essa análise de tensões.

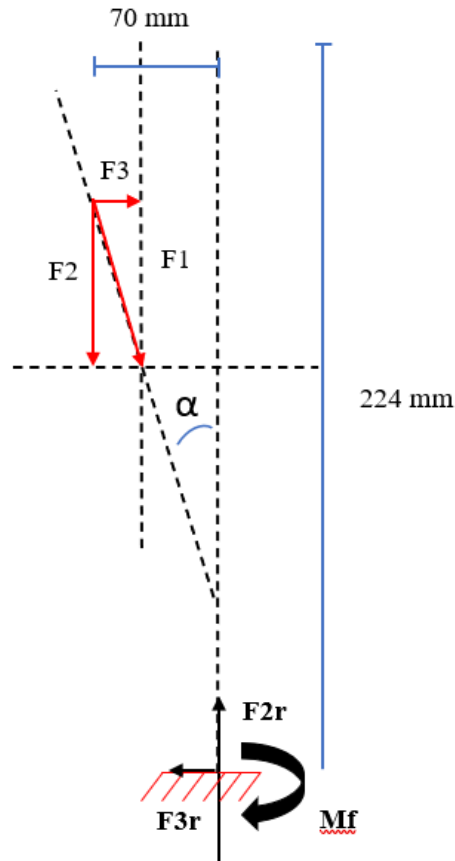


Figura 65: Esquema básico de distribuição de forças do estudo 2.

Aqui o ângulo provocado pelo enrolamento total da cinta de elevação causa no eixo em estudo uma força transversal e axial (F_2 e F_3) que sujeita o eixo a tensões tanto de tração como de flexão.

4.2.2.2. Cálculo de F₁, F₂ e F₃

$$F_1 = 30 \times 9,81 = 294,3 \text{ N} \quad (9)$$

Tendo em conta que a força aqui aplicada é inclinada, foi necessário retirar o ângulo (α) na situação em estudo, quando a cinta se encontra totalmente enrolada na polia, e posteriormente fazer a decomposição da força em duas: F₂ e F₃. Utilizando as leis da trigonometria chegou-se aos valores finais das forças de reação à força F₁, equações 10 e 11.

$$\alpha = 18,75^\circ$$

$$F_2 = F_{2r} = F_1 \times \cos(18,75^\circ) = 278,7 \text{ N} \quad (10)$$

$$F_3 = F_{3r} = F_1 \times \sin(18,75^\circ) = 94,6 \text{ N} \quad (11)$$

Seguidamente ao cálculo das forças de reação, procedeu-se para o cálculo do Momento Fletor associado à força F₁ na equação 12.

$$M_f = F_{2r} \times 70 + F_{3r} \times 224 = -1681,4 \text{ N. mm} \quad (12)$$

4.2.2.3. Tensões e dimensionamento

Quanto à tensão a que o eixo está sujeito foi calculada pela equação 13, sendo que se tem aqui aplicada uma força axial (F₂) que tem que ser considerada para o cálculo assim como o Momento Fletor calculado anteriormente. Verifica-se que o valor da tensão fica muito abaixo do limite de cedência (1080 MPa) sendo que aqui no eixo é utilizado um M10 considerando aqui um diâmetro nominal de 8,5 mm (Paulino e Antunes, 2019).

$$\sigma_{eq} = \frac{F}{A} + \frac{M_f \times y_{max}}{I_x} \quad (13)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{278,7}{\pi \times \left(\frac{8,5}{2}\right)^2} + \frac{1681,4 \times \frac{8,5}{2}}{\frac{\pi \times 8,5^4}{64}} = 30,3 \text{ MPa}$$

Foi também feito o dimensionamento para uma situação limite (tensão máxima admissível) para ser verificado o diâmetro utilizado efetivamente no eixo (M10), equação 13. O diâmetro calculado foi de 2,56 mm o que indica que o fuso M10 está sobredimensionado e assim utilizou-se um diâmetro que está sempre do lado da segurança.

$$\sigma_{ced}[1080 \text{ MPa}] = \frac{278,7}{\pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2} + \frac{1681,4 \times \frac{d}{2}}{\frac{\pi \times d^4}{64}}$$

$$d = 2,56 \text{ mm}$$

4.2.2.4. Conclusões

Relativamente aos valores obtidos, era espectável que os valores de tensão de cedência a que o fuso está sujeito fosse relativamente baixa (cerca de 30 MPa) tendo consideração que esta está maioritariamente submetido à tração. Por outro lado, atendendo à classe de resistência do fuso em estudo uma resistência à cedência bastante elevada (1080 MPa) o valor do diâmetro mínimo também correspondeu a um valor bastante abaixo daquilo que está a ser aplicado na realidade (cerca de 2,6 mm), ficando assim o fuso sobredimensionado não correndo qualquer risco de cedência do material.

5. ESTUDO CAE (COMPUTER AIDED ENGINEERING)

5.1. Introdução

CAE (“Computer Aided Engineering”) ou Engenharia Assistida por Computador é o uso da tecnologia para simular o desempenho de forma a testar e melhorar projetos ou ajudar na resolução de problemas de engenharia. Permite a análise de tensão estática ou dinâmica em componentes, analisando-os com base no método de elementos finitos, entre tantos outros recursos que não são relevantes para o presente relatório. O Solidworks® é uma ferramenta computacional de destaque neste campo.

FEM (“Finite Element Method”) ou Método dos Elementos Finitos consiste em dividir uma geometria que está submetida a carregamentos e restrições em pequenas partes, denominadas elementos, os quais possam representar o domínio contínuo do problema. O método propõe que um número infinito de variáveis desconhecidas pode ser substituído por um número limitado de elementos de comportamento bem definido, sendo que estes podem assumir as mais variadas formas geométricas. Esses elementos estão conectados entre si por pontos, denominados nós, e ao conjunto dá-se o nome de malha. Em função dessas divisões da geometria, as equações matemáticas que regem o comportamento físico do componente não são resolvidas de forma exata, mas de forma aproximada. A precisão dos resultados é função do número de elementos da malha, ou seja, quantos mais elementos, mais os resultados da análise se aproximam do valor real da solicitação. Os programas de simulação computacional têm evoluindo continuamente, procurando as melhores soluções de geração da malha e assim obter menores erros nos resultados da análise (Sarmiento, 2010). No âmbito deste relatório, este método é empregue na análise estrutural de componentes mecânicos, por meio da obtenção de deslocamentos, deformações e tensões.

Foram abordados dois tipos de estudos gerais sendo o primeiro considerando todo o modelo como elementos sólidos e o segundo considerando o modelo como elemento casca. Foram feitas essas duas abordagens para fazer a demonstração que neste caso seria possível utilizar o modelo apenas com faces visto que são chapas de aço bastante finas e ao nível de resultados consegue-se obter resultados bastante semelhantes aos obtidos no caso de utilização de elementos sólidos. Porém, a grande vantagem da utilização dos elementos casca é o tempo de computação que é bastante mais reduzido do que com a utilização dos elementos sólidos.

5.2. Considerações Gerais para os Estudos

Após a criação do modelo 3D, seguiu-se o estudo do comportamento dos componentes quando submetidos às solicitações de elevação da carga, de forma a determinar a sua capacidade resistente e avaliar as tensões e deslocamentos. Nesse estudo o modelo a considerar é apenas a parte estrutural da parte móvel da plataforma elevatória, figura 66, essa sustenta a chapa que está soldada e também os rolos de deslize das caixas que estão aparafusados a esta estrutura.

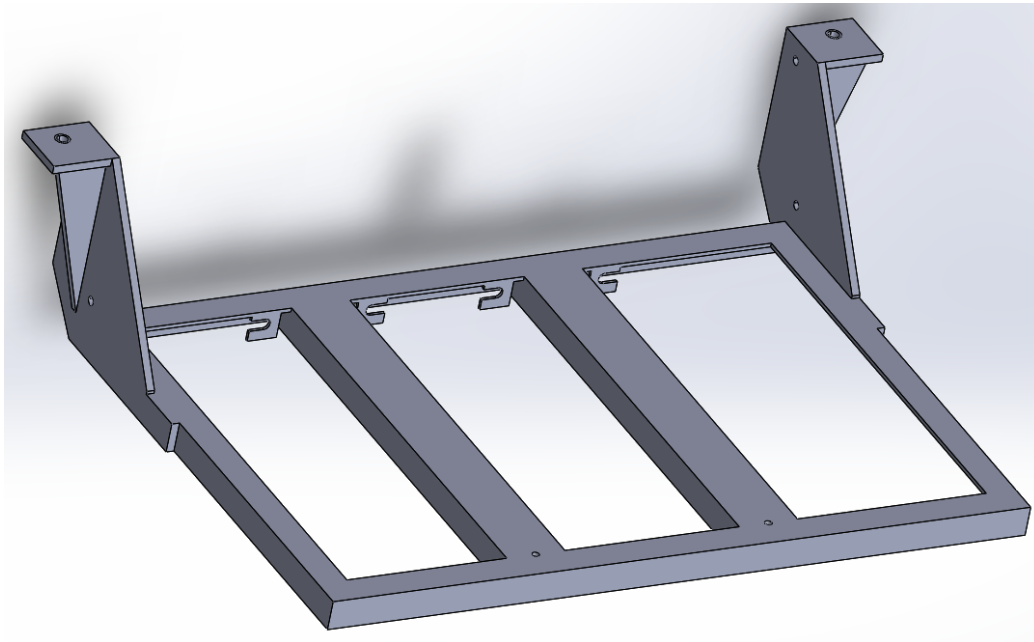


Figura 66: Representação *Solidworks* da peça em estudo.

Essa simulação será realizada com auxílio do método de elementos finitos na ferramenta de Simulação do Solidworks®, uma ferramenta que normalmente é eficaz quando as solicitações impostas estão dentro do domínio elástico do material constituinte do objeto em estudo. Os estudos serão efetuados no domínio da estática linear, isto é, será realizada uma análise estática do conjunto de componentes quando estes são submetidos a forças distribuídas ou localizadas e a vários tipos de encastramento no apoio onde se localizaria as porcas que fixam os fusos verticais e restrições também aos 4 veios que fixam os roletes de guiamento.

Para a realização dos estudos é necessário definir os materiais constituintes, a intensidade, direção e sentido das solicitações a que os componentes estão sujeitos, as restrições e ligações entre os componentes e a caracterização da malha. Através do estudo de convergência de malha, consegue-se obter resultados muito aproximados em termos de tensões, deslocamentos e deformações que vão estar distribuídos na estrutura considerada.

5.3. Modelação 3D com elementos Casca

Os elementos do modelo Casca permitem simular todas as superfícies da peça através da criação de uma única superfície localizada, por exemplo, a meio da geometria (*Mid Surface*). A vantagem dos elementos Casca comparativamente aos elementos sólidos, é a possibilidade de estudar seis graus de liberdade da peça em vez dos 3 graus de liberdade inerentes ao sólido, sendo eles três translações em x, y e z, e três rotações em torno desses mesmos eixos. Este tipo de estudo, exige menor poder computacional comparativamente ao estudo em sólido sendo também esta uma grande vantagem comparativamente aos elementos sólidos. A definição de Casca foi aplicada através dos comandos *Mid Surface* e *Offset Surface*. A seguir está o elemento casca já com malha pré-definida, figura 67.

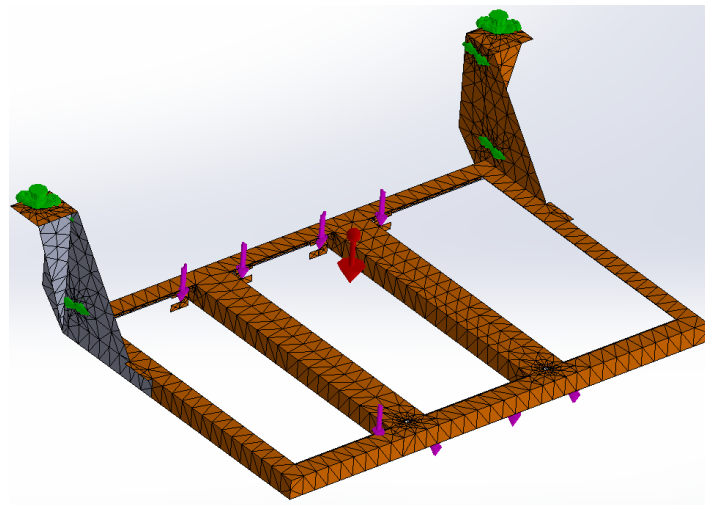


Figura 67: Representação Solidworks da malha do elemento casca.

De notar que, como as chapas são de diferentes espessuras, foi necessário configurar essas diferentes espessuras em cada troço de chapa que fosse de espessura diferenciada no *Shell Manager* (figura 68). Assim conseguiu-se obter o modelo correspondente à realidade representada nos elementos Sólidos.

Shell Manager - Use the Shell Manager to review and edit all shells in the current study <Porcas_furos_rodas> - Enable the "Color by:" "Thickness" or "Material" plot to show a color plot of the various shell thicknesses or materials (shells without a defined Thickness or Material appear grey) - Enable "Preview Offset:" for "Selected" shells or "All" shells (slower) to preview the shells' offset, thickness and flip (the bottom face of the shell is orange while the top face is green).											
Group	Selection	Type	Thickness	Unit	Material	Flip	Offset	Ratio	Shell Name		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 1(Surface-Offset4(4))		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 2(Surface-Offset3)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 3(Surface-MidSurface23)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 4(Surface-Plane11)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Middle		SurfaceBody 5(Surface-MidSurface23)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 6(Surface-MidSurface24)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 7(Surface-Offset4(3))		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 8(Surface-Plane14)		
None	Surface body	Thin	8	mm	1.0143 (S275J0)		Middle		SurfaceBody 9(Surface-Offset1(11))		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 10(Surface-Plane10)		
None	Surface body	Thin	8	mm	1.0143 (S275J0)		Middle		SurfaceBody 11(Surface-Extend3)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Middle		SurfaceBody 12(Surface-MidSurface2)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 13(Surface-Offset4(2))		
None	Surface body	Thin	16	mm	1.0143 (S275J0)		Ratio	0.33	SurfaceBody 14(Surface-Plane6)		
None	Surface body	Thin	3	mm	1.0143 (S275J0)		Top		SurfaceBody 15(Surface-Plane12)		

Figura 68: Modelação no *Shell Manager* das espessuras em diferentes zonas da estrutura.

5.4. Propriedades mecânicas do material

O material utilizado para a construção da estrutura móvel da plataforma é o aço S275J0 que é um aço estrutural de qualidade de construção básica com uma tensão de cedência de 275 MPa. Esse tipo de chapa de aço é utilizado em peças de média resistência e boa tenacidade como estruturas metálicas para edifícios ou armazéns por isso é um aço a considerar adequado para esta aplicação. É uma união de ferro com pequenas quantidades de carbono, o que lhe confere uma grande dureza, resistência e capacidade de forjamento. Deve-se ter em conta que é um material oxidável, portanto, apesar de usar revestimentos que retardam sua oxidação, deve ser tratado de vez em quando.

Na tabela 9 a baixo apresentam-se as caraterísticas a considerar relevantes para este estudo.

Tabela 9: Propriedades mecânicas do aço S275J0.

Propriedades – Aço S275J0	Valor	Unidade
Módulo de Elasticidade	210	GPa
Coefficiente de Poisson	0,3	Adm
Tensão de Cedência	275	MPa
Massa Volúmica	7800	kg/m ³

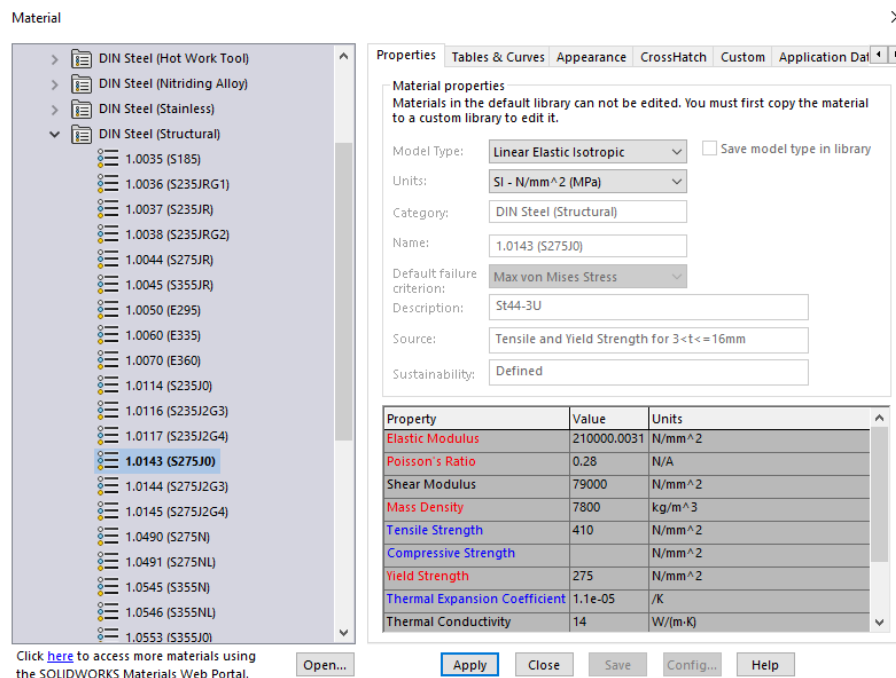


Figura 69: Propriedades mecânicas do aço S275J0 na base de dados do Solidworks.

5.5. Solicitações e Restrições Aplicadas aos Estudos

Previamente à elaboração dos ensaios de simulação, foi decidido que para além do estudo da peça considerando elementos Sólidos e elementos Casca, também entre cada um dos estudos se faria dois tipos de fixações da peça de modo a averiguar a resistência do material. Assim, tem-se comparações de quatro estudos sendo considerados dois para elementos sólidos e dois para elementos casca. O primeiro tipo de fixação considerada foi apenas a fixação das faces que estão em contacto com as porcas do eixo que faz parte da constituição das peças onde são acopladas as cintas. Aqui utilizou-se o comando *Fixed Geometry* de modo a restringir este eixo aos 3 graus de liberdade como apresentado nas figuras 70 e 71. Por outro lado, para além dessa fixação anteriormente apresentada, que seria a mais desfavorável para o material, decidiu-se também recorrer à restrição da zona onde estão acoplados os roletes que fazem o guiamento vertical na estrutura elevatória. Então, essa aplicação restringe de forma que a estrutura não tenda a inclinar-se para a frente correndo o risco da caixa com as cargas de peças se desequilibrar para a parte frontal. Aqui utilizou-se novamente o comando *Fixed Geometry*, porém com a utilização de referências de modo a restringir na horizontal como era pretendido.

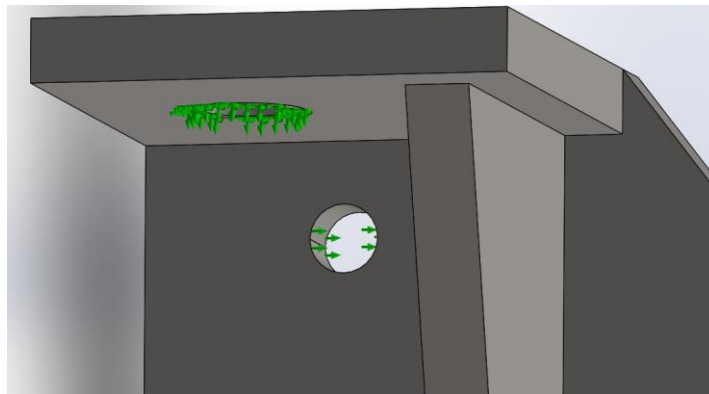


Figura 70: Representação *Solidworks* das zonas de fixação durante o estudo de simulação.

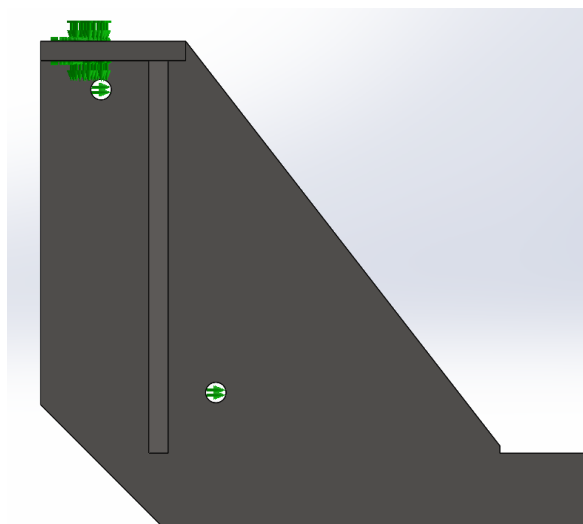


Figura 71: Representação *Solidworks* das zonas de fixação durante o estudo de simulação.

Relativamente às cargas aplicadas na estrutura, inicialmente considerou-se a força exercida pela massa da própria estrutura tendo em mente que é de praticamente 30 kg. A seguir fez-se a aplicação da massa das caixas de peças a elevar distribuída por 8 pontos de aplicação, que são exatamente as faces onde estão acoplados os rolos, e considerando que as caixas de peças irão assentar nesses rolos, serão eles a fazer a distribuição de força para a estrutura. Aqui dividiu-se essas faces em dois visto que só a parte de baixo da face é que estará sujeita à aplicação de força como mostra a figura 72. A carga considerada foi de 294,3 N distribuídos pelos 8 pontos de aplicação, como mostra a figura 73, 30 kg das caixas de peças multiplicado pela aceleração da gravidade $9,81 \text{ m/s}^2$, tendo em conta que é uma força de aplicação vertical.

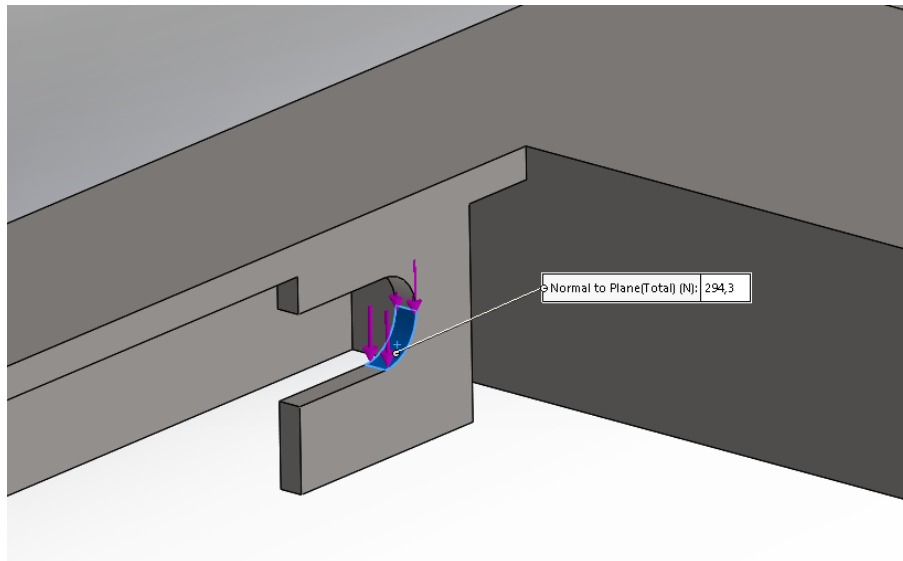


Figura 72: Representação *Solidworks* da distribuição de força na face inferior da zona de acoplamento do rolo.

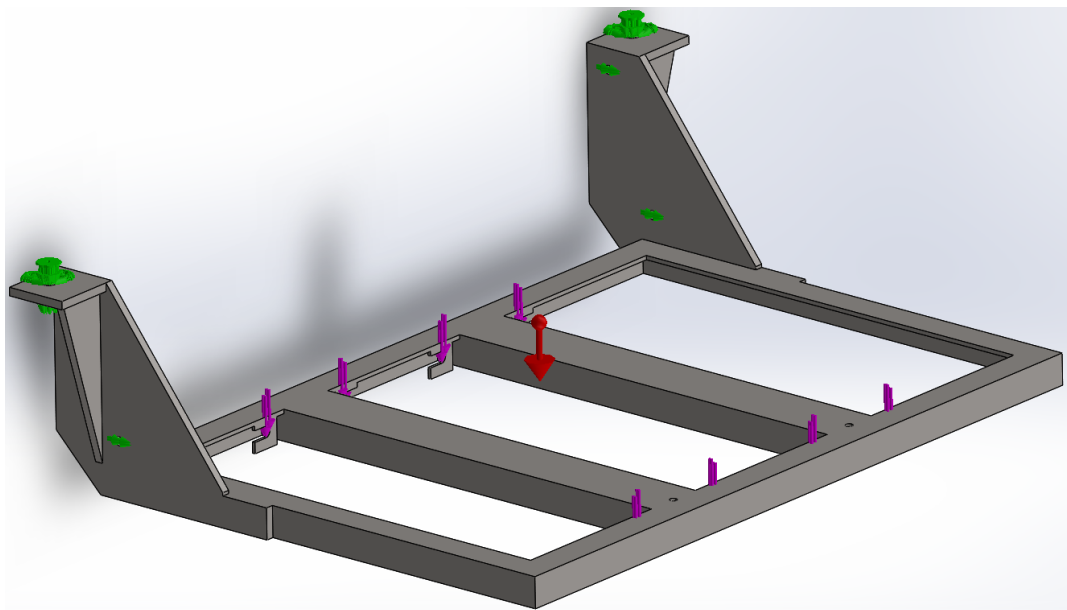


Figura 73: Representação *Solidworks* da distribuição de forças, fixação e aceleração da gravidade aplicadas à peça em estudo.

5.6. Estudo da Malha

A partir da ferramenta *Create Mesh* é criada a malha, figura 74. A malha representa a aparência da peça após ser dividida em elementos mais pequenos. Quanto mais refinada essa for, maior será a quantidade de elementos em que os componentes serão divididos. No entanto, a quantidade de cálculos realizados pelo programa será tanto maior quanto maior a quantidade de elementos de malha. Deverá definir-se o refinamento da malha em função da precisão desejada e da capacidade de processamento computacional disponível.

O *Solidworks* gerou automaticamente e por defeito uma malha constituída por elementos do tipo tetraédrico de 4 nós com 12 graus de liberdade, em que cada nó tem 3 graus de liberdade, e com um comprimento da base do elemento de aproximadamente 20 mm. Sendo que os elementos tetraédricos produzem resultados mais precisos em termos de convergência de malha, comparativamente a outros elementos, irá ser utilizado este tipo de elementos em todos os estudos da malha.

Foi utilizado o *Standard Mesh* para obter resultados mais precisos visto que a peça tem superfícies planas e finas. Foi decidido também dividir a densidade da malhagem em 9 pontos para os estudos das tensões e deslocamentos nos elementos Sólidos (de 2 em 2 mm a começar em 20 mm para o tamanho máximo de nó) e de 13 pontos para os estudos das tensões e deslocamentos nos elementos Casca (de 2 mm em 2 até aos 10 mm a começar em 20 mm, posteriormente de 1 em 1 até aos 3 mm).

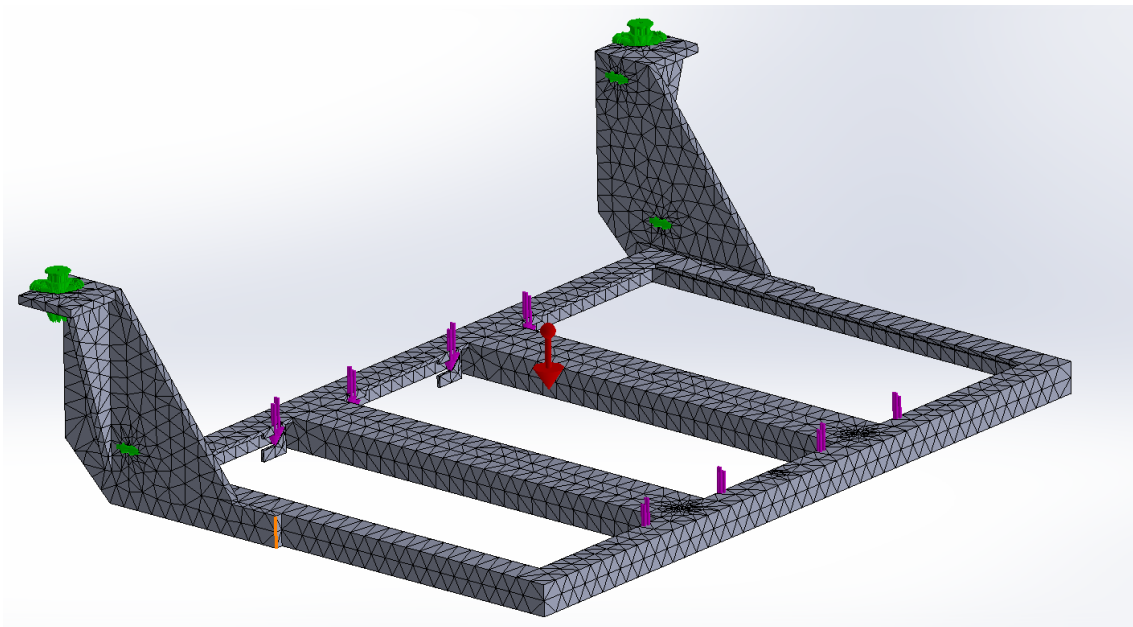


Figura 74: Representação *Solidworks* da distribuição de malha na peça.

5.7. Convergência de Malha

Foram realizados 4 estudos de convergência de malha:

- Elementos Sólidos – Porcas;
- Elementos Sólidos – Porcas e Interior Roletes;
- Elementos Casca – Porcas;
- Elementos Casca – Porcas e Interior Roletes;

Foram reunidos em várias tabelas e gráficos de convergência para análise em cada um dos estudos considerando o Tamanho do elemento (mm), o número de nós, o número de elementos, Deslocamento (mm), Tensão von Mises máxima (MPa). As tabelas de convergência encontram-se anexadas e os gráficos apresentam-se a seguir. Será primeiro feita a apresentação gráfica de convergência de malha em todos os estudos e só posteriormente apresentadas as conclusões e comparações relativamente a esses gráficos.

5.7.1. Elementos Sólidos – Porcas

No caso do primeiro dos quatro estudos realizados, foi apenas considerada a fixação por via das porcas que estão aparafusadas ao eixo que faz parte da constituição da peça onde são acopladas as cintas e a aplicação das cargas já abordadas anteriormente. Esse estudo é o estudo mais desfavorável para a estrutura sendo que não é o que acontece na realidade, tendo em conta que os roletes exercem um papel fundamental para a estabilidade da estrutura. Apresenta-se a seguir o gráfico, figura 75, de convergência de malha relativo a este primeiro estudo. De notar que a tabela de convergência de malha onde foram reunidos os valores retirados do estudo encontra-se em anexo (Tabela 12).

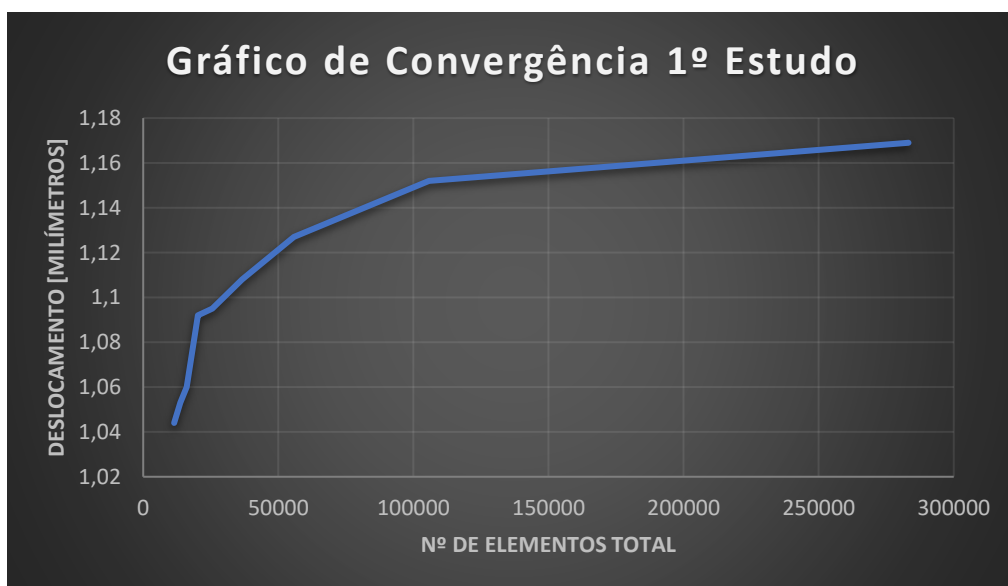


Figura 75 - Gráfico de convergência de malha do 1º Estudo realizado.

5.7.2. Elementos Sólidos – Porcas e Interior Roletes

No caso do segundo dos quatro estudos realizados, foram consideradas, para além da fixação por via das porcas que estão aparafusadas ao eixo, os eixos de fixação dos roletes que estão em contacto com os perfis U estruturais da plataforma elevatória. De notar que nesse caso é o mais aproximado da realidade e por isso será de esperar que a nível de tensões de cedência e de valores de deslocamentos estejam abaixo dos valores do estudo anterior. Apresenta-se a seguir o gráfico, figura 76, de convergência de malha relativo a este estudo. De realçar também que a tabela de convergência de malha onde foram reunidos os valores retirados do estudo encontra-se em anexo (Tabela 13).

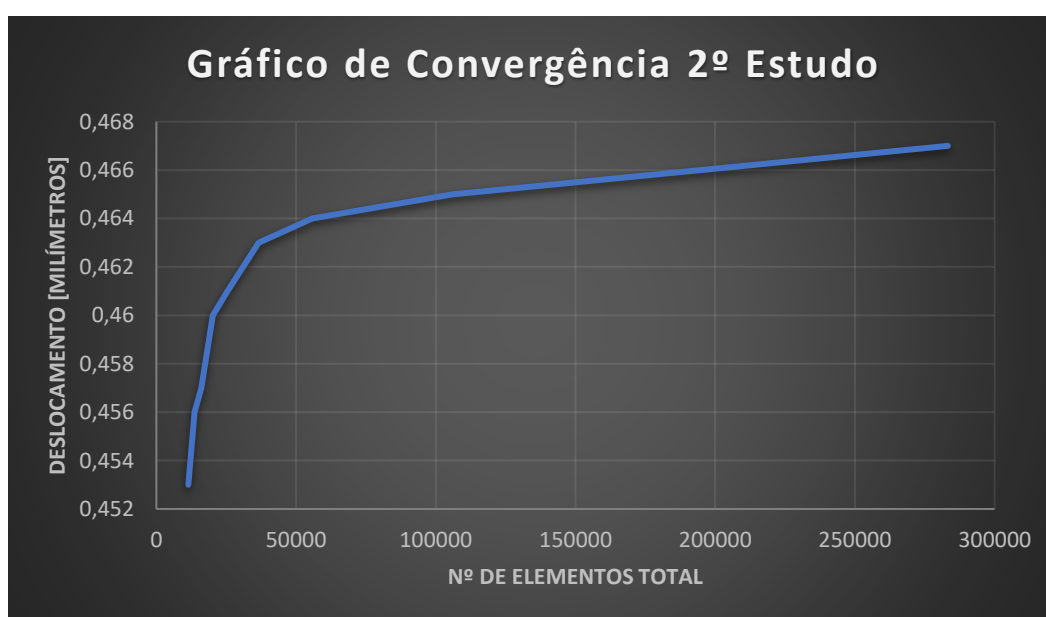


Figura 76 - Gráfico de convergência de malha do 2º Estudo realizado.

5.7.3. Elementos Casca – Porcas

De seguida aos estudos referidos, foram feitos 2 estudos em que o modelo 3D considerado foi o modelo Casca, como já anteriormente referido. Em termos de simulação, primeiramente foi feita apenas aplicada a fixação na zona das porcas tal como no primeiro estudo dos elementos sólidos e a aplicação das cargas exatamente igual aos anteriores estudos. Está apresentado a seguir, figura 77, de convergência de malha para este estudo. A tabela de convergência de malha onde foram reunidos os valores retirados do estudo encontra-se também em anexo (Tabela 14).

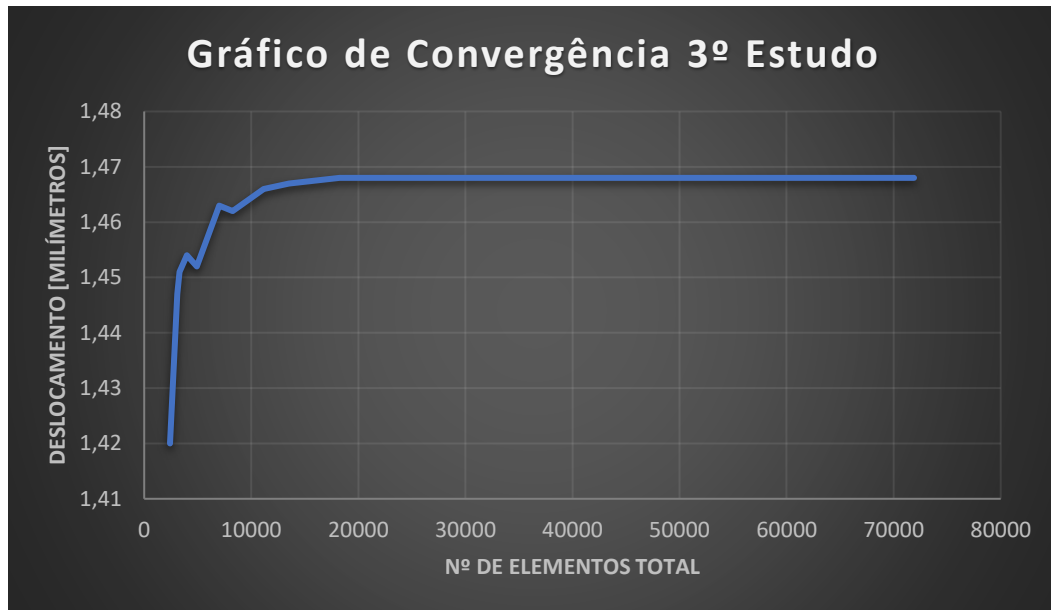


Figura 77 - Gráfico de convergência de malha do 3ºEstudo realizado.

5.7.4. Elementos Casca – Porcas e Interior Roletes

Por último, foi feita novamente a aplicação das restrições referentes aos roletes de guiamento para além das restrições das porcas de fixação do eixo da peça onde são acopladas as cintas. Consequentemente, é espectável que os valores de tensão e de deslocamentos sejam também mais baixos que no estudo anterior. Está representado a seguir o gráfico, figura 78, de convergência para o quarto e último dos estudos, sendo que a tabela de convergência se encontra anexada (Tabela 15).

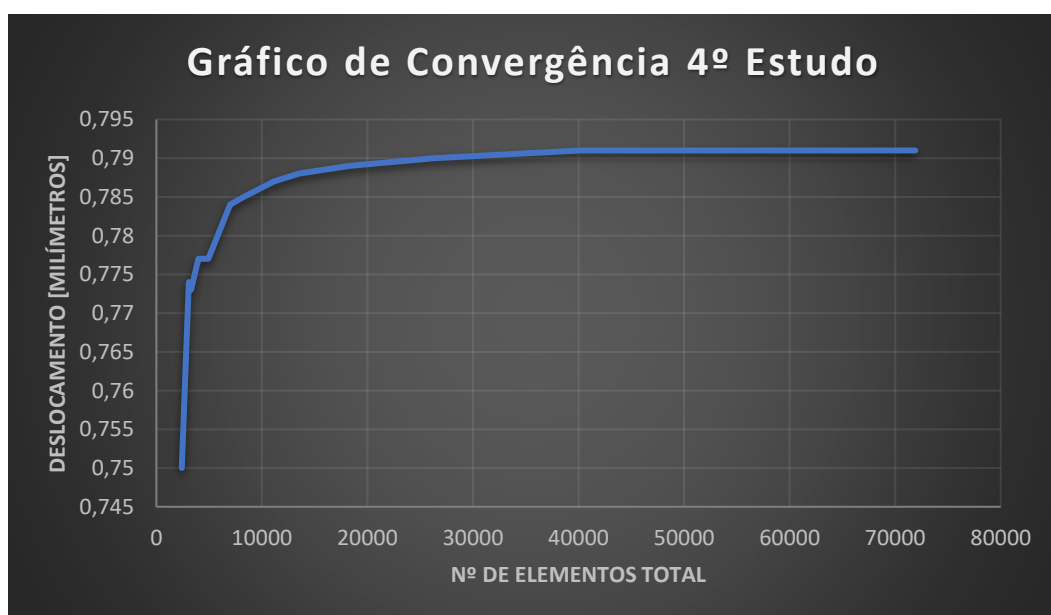


Figura 78 - Gráfico de convergência de malha do 4ºEstudo realizado.

5.8. Resultados Obtidos e Comparação entre Estudos

Analizados os gráficos dos deslocamentos verifica-se que existe convergência de malha nos 2 estudos efetuados segundo o modelo Casca. Quanto aos estudos sólidos verifica-se que a convergência também começou a tender para os valores finais apesar de ser mais lenta e, devido a apenas ter sido feito 9 estudos este gráfico precisaria de mais valores, porém devido à capacidade computacional disponível não foi possível realizar mais estudos de refinamento de malha.

Em termos de valores absolutos, verificou-se que nos estudos com apenas a fixação na zona das porcas, os valores de deslocamento são bastante mais elevados por comparação com os valores dos estudos em que se utiliza a fixação do interior dos roletes (1º e 3º estudos – 1,2 mm e 1,5 mm de valores máximos, respetivamente; 2º e 4º estudos – 0,5 mm e 0,8 mm de valores máximos, respetivamente). Isso verifica-se devido aos estudos 1 e 3 serem os casos mais desfavoráveis para o material o que é comprovado pela análise do gráfico, figura 79. Quanto à aplicação prática destes valores de deslocamento, e tendo consideração que na constituição da parte móvel da plataforma foram incluídos batentes na zona frontal para que as caixas de peças fiquem “encaixadas” nesses batentes, não existe valores problemáticos de deslocamentos (valores verificados de deslocamento são baixos) e assim as caixas não correm o risco de deslizar para fora do local onde será feito o seu posicionamento pelo cilindro de transição.

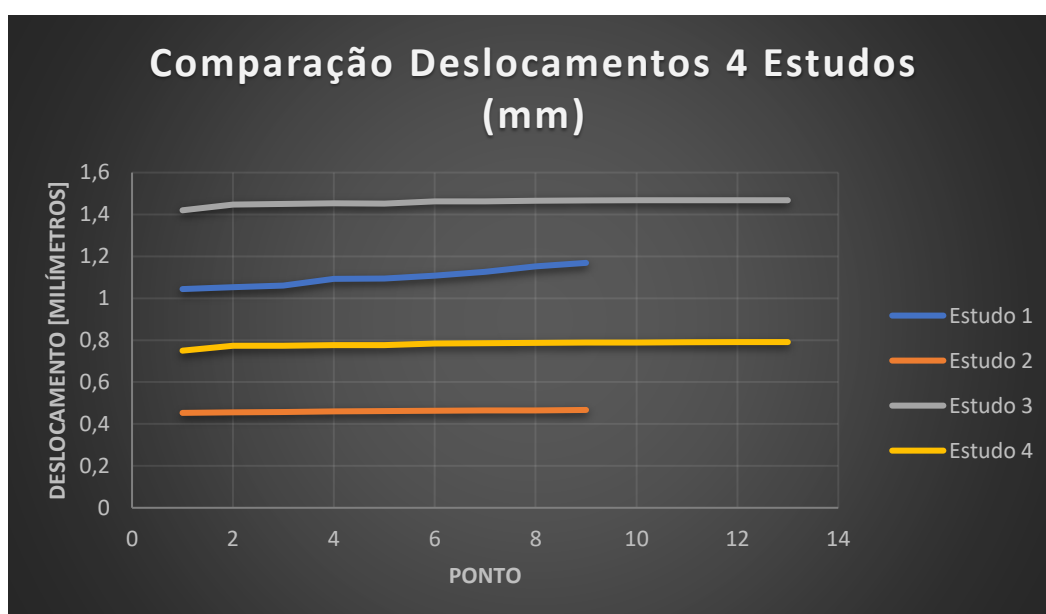


Figura 79 - Gráfico de comparação dos deslocamentos máximos dos 4 estudos.

Quanto aos valores de tensão de cedência verificados, é de salientar que nos estudos 1 e 3 esta tensão é bastante mais elevada do que nos estudos 2 e 4 pela mesma razão já explicada no parágrafo anterior nos deslocamentos. Considerou-se como Tensões de Projeto as tensões verificadas no 2º ponto logo após o início de convergência de malha. Assim, e tendo em vista que os estudos 3 e 4 obtiveram melhores resultados, verificou-se estas tensões no ponto 11 do 3º estudo sendo a tensão de 79,6 MPa, e no ponto 13 do 4º estudo sendo a tensão de 51,1 MPa. Em conclusão, verifica-se que essas tensões estão bastante abaixo da tensão máxima de cedência do material, correspondente a 275 MPa. Apresenta-se a seguir o gráfico, figura 80 dos valores concretos das tensões de Von Mises Máximas verificadas ao longo dos estudos.

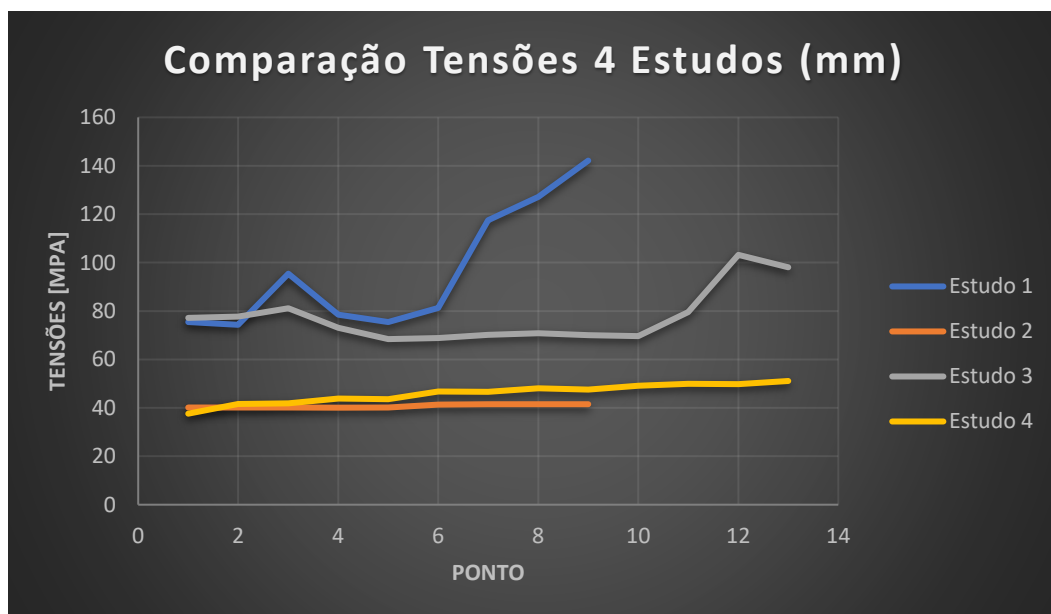


Figura 80 - Gráfico de comparação dos Tensões de Von Mises máximas dos 4 estudos.

6. ANÁLISE AO PROCESSO E OPERAÇÕES DA SECÇÃO DA NIQUELAGEM

6.1. Layout Atual

Durante o estágio foi possível observar e acompanhar todo o processo de tratamento na área da Niquelagem da SRAMPORT. Foi uma observação e análise detalhadas de todo o percurso tanto de tarefas do operador, mas também dos vários locais pelos quais as peças a Niquelar passam. Neste último capítulo, foi feita a descrição e análise do layout atual desta secção assim como uma proposta de Layouts “Futuros” que pode ser adaptado pela empresa num futuro próximo. Começou-se por analisar os vários percursos efetuados pelos operadores reunindo-se várias operações de maior ou menor importância. Consoante essas tarefas e percursos verificados foi feito um “Diagrama Spaghetti” a fim de ser feita uma observação gráfica dos movimentos de trabalho dos operadores. Também foi efetuado um “Diagrama de Fluxo de Carga”, nesse caso as placas de corrente a Niquelar, de modo a averiguar os vários tempos e locais pelos quais passam as peças. Posteriormente, reuniu-se em tabelas e gráficos esses dados e foi feita a sua análise para eventuais melhorias que se pudessem verificar nos processos.

Depois e consoante a experiência obtida nesta secção da empresa, foi proposto ser feita uma planificação de Layouts futuros tendo em mente a expansão futura da unidade fabril da SRAMPORT de uma nova linha de Niquelagem, de modo a planear da melhor forma os locais de posicionamento dos vários equipamentos. Assim, conforme os problemas identificados no Layout Atual, o Layout Futuro já seria otimizado de forma a que o circuito tivesse o máximo de seguimento possível, tanto a nível das operações do operador, mas também do ponto de vista das próprias peças e otimizando o espaço para que as peças percorram a menor distância possível na secção (Barros, 2011).

6.2. Diagrama Spaghetti

O diagrama Spaghetti permite observar os deslocamentos e as distâncias percorridas pelo material ou pelo operador ao longo do processo. Essa ferramenta tem como objetivo expor layouts ineficientes identificando desperdícios que ocorrem entre as etapas chave. O primeiro passo para eliminar o desperdício de deslocamento é identificá-lo e mostrá-lo. Esse diagrama é usado para exibir ou esboçar o processo de movimentação existente e, em seguida, observar quaisquer melhorias possíveis no fluxo envolvido. O diagrama é feito através do traçado de linhas ligando um ponto a outro e, por meio desse, pode-se rastrear o caminho de movimento de equipamentos, trabalhadores, materiais, entre outros. Também é possível usar cores diferentes para vários materiais, trabalhadores ou meios técnicos e rastrear o deslocamento em momentos diferentes. Nessa aplicação foram

utilizadas as várias cores para distinguir os vários ciclos de operações. A análise do diagrama permite identificar os comprimentos dos movimentos, número de movimentos, movimentos de sobreposição e cruzamento, e as suas características de acordo com a classificação escolhida. Aplicando o resultado do diagrama, pode identificar-se movimentos ineficientes e áreas ineficazes, eliminar o número de funcionários ou fazer alterações na organização do trabalho ou no layout do posto de trabalho. Os movimentos ineficientes são observados quando há a identificação de deslocamentos muito longos, que podem ser reduzidos com a modificação de posição de elementos na secção em estudo (Teixeira, 2014).

Foram então identificadas todas as operações que são efetuadas durante o tratamento da Niquelagem pelo operador estando estas reunidas no anexo (figura 84). As várias tarefas aqui efetuadas foram reunidas em ciclos, visto que a cada 12,40 min sai uma carga da linha. Esse tempo é o tempo em que o operador tem que processar o resto das cargas que já foram sujeitas aos tratamentos da linha de Niquelagem, seja a fazer pesagem em baldes ou a fazer o carregamento da secadora, por exemplo. Assim, foram analisados os 6 ciclos considerados mais críticos a nível de tempo para o operador e exportados para a planta da secção da Niquelagem, constituindo o Diagrama Spaghetti, anexado (figura 95). A tabela 10 apresentada a seguir, reúne assim os tempos em que o operador se encontra em movimento, em trabalho efetivo ou em espera, assim como a taxa de ocupação e os metros percorridos pelo operador ao longo de cada ciclo. Também é apresentada com descrição do ciclo as tarefas críticas que são neste caso as que ocupam mais tempo ao operador, sendo que a maior parte das outras tarefas são repetidas em todos os ciclos.

Tabela 10: Descrição das operações realizadas pelo operador e tempos chave do processo.

Ciclo	Descrição Específica do Ciclo [Crítica]	Tempo em Movimento [min]	Trabalho Efetivo [min]	Tempo de Espera [min]	Taxa de Ocupação [%]	Metros Percorridos [m]
1	Geral com Baldes.	00:01:20	00:06:10	00:05:10	59,2%	18
2	Geral.	00:01:10	00:05:30	00:06:00	52,6%	16
3	Descarregar 1/2 carro + Baldes.	00:02:00	00:08:30	00:02:10	82,9%	39
4	Descarregar 1/2 carro.	00:02:00	00:07:50	00:02:50	77,6%	31
5	Geral com Baldes.	00:01:20	00:06:10	00:05:10	59,2%	18
6	Levar carro até à estufa e Programar Estufa.	00:02:10	00:07:10	00:03:20	73,6%	41

Feita a análise do Diagrama Spaghetti e da tabela anterior, pode-se confirmar que existe uma grande complexidade do fluxo, uma vez que esse pode variar com o tipo de tarefas necessárias a realizar em cada ciclo. De notar que os ciclos 3 e 4, onde a taxa de ocupação é mais elevada, não são os ciclos onde o operador percorre mais metros, é no ciclo 6 onde esse facto acontece (41 metros percorridos), durante a tarefa de transportar o carro com

cargas até à estufa para desgaseificação. Por outro lado, a tarefa de descarregamento do carro transportador de cargas é a tarefa em que os operadores mais tempo despendem apesar de esta estar subdividida em 2 ciclos diferentes visto que descarregam metade do carro em cada um dos ciclos 3 e 4.

6.3. Diagrama de Fluxos

A cartografia de fluxo do produto, que se encontra anexada (figura 96), exhibe o tempo médio despendido em cada tarefa e os metros que a carga se desloca durante o processo da Niquelagem e permite identificar atividades que não criam valor ao produto. Posteriormente, é são analisadas estas tarefas para verificar se são necessárias ou se por outro lado existe alguma forma de as contornar e assim eliminá-las do processo em questão. Diminuindo o nº de tarefas que não acrescentam valor ao produto irá rentabilizar ainda mais o processo de produção, visto que as peças serão produzidas mais rapidamente e mais eficientemente. Foram considerados para este estudo todas as tarefas realizadas a partir do momento em que as placas de corrente entram na secção da Niquelagem até que esteja finalizado o tratamento e prossigam para a próxima secção na fábrica (Teixeira (2014)).

Considerou-se operações de “Transformação” aquelas que implicam a alteração da peça a nível físico-químico. Desta forma aquelas que conferem valor acrescentado ao produto, neste caso é o tratamento de Niquelagem em si. Neste processo são 3 operações: “Niquelagem”, “Secagem” e “Desgaseificação”. Quanto às operações de “Transporte”, neste caso específico não foram incluídas no estudo. Sendo que se considerou que o transporte do produto implicaria a utilização de meios alternativos como um empilhador ou algum equipamento fora do contexto do tratamento da Niquelagem. Incluiu-se então o transporte de cargas no carro transportador como uma tarefa de manuseamento do operador. No “Manuseamento” foram consideradas todas as tarefas em que o operador está em contacto direto com as peças sendo a fazer descargas ou o próprio transporte das mesmas no carro, como já referido. São várias estas tarefas de manuseamento como a carga e descarga de peças ou a pesagem, por exemplo. Estas tarefas sendo necessárias neste contexto de procedimentos, não são tarefas que acrescentem valor ao produto. O “Controlo” de peças é uma tarefa imprescindível neste processo sendo que é feita a verificação do estado das peças visualmente entre tarefas ou na bancada de espaço técnico segundo a norma estabelecida. Apesar de serem tarefas importantes, são relativamente rápidas neste processo. Foram consideradas tarefas de “Stockagem” sempre que as peças param ou estão em espera para avançar para outro tipo de operações seguintes. Neste caso estas tarefas onde as cargas estão em “stand-by” são um dos principais problemas a nível de tempo e que não acrescentam em nada valor ao produto. Como tarefas “Diversas” foram apenas consideradas 2 tarefas: “Programação da estufa” e o “Pré-aquecimento da

estufa”. Aqui foram consideradas operações que não se enquadram nos outros tipos de tarefas.

Em primeiro lugar reuniu-se na tabela 11 a seguir representada, valores que correspondem ao tipo e número de tarefas realizadas de processamento desde que o lote de placas chega desde as prensas até que sai já como produto final para prosseguir para a montagem. É exibido o acompanhamento de uma carga de placas 400 80 (nomenclatura utilizada pela empresa) durante todo o processo de Niquelagem para perceber ao pormenor quanto tempo leva até que esta carga seja totalmente tratada e quantos metros ela se desloca durante este processo.

Tabela 11: Tipo de operações realizadas na niquelagem, duração e distâncias percorridas pelas cargas.

Operações:			Atual:	Tempo [min]	Distância [m]
1	Transformação		3	393	32
2	Transporte		0	0	0
3	Manuseamento		11	7,3	28,7
4	Controlo		3	2,3	0
5	Stockagem		6	263,2	0
6	Diversos		2	52	0
TOTAL			25	717,9	60,7

Como é possível verificar na tabela 11, a maioria de tarefas no processo resulta de atividades que não criam valor ao produto, como o manuseamento (11) e a stockagem (6). Qualquer operação é composta por períodos durante a qual a condição de trabalho varia em função:

- da intervenção do operador;
- da intervenção da máquina.

Nesse sentido, foi decidido distinguir e relacionar as operações em termos de tempo de operação para se perceber quais as que tomavam mais tempo e mais metros percorridos durante o processo e analisar se seria possível reduzir esses mesmos tempos e distâncias de operação.

Após a realização da tabela foi representado graficamente as percentagens em relação aos tempos e às distâncias para análise de possíveis melhorias futuras no processo, gráficos, figuras 81 e 82.

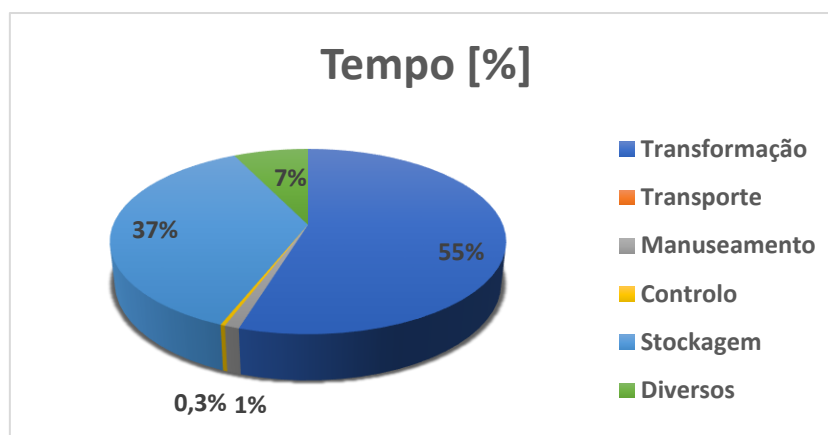


Figura 81 - Gráfico de percentagens relativo aos tempos por tipo de operação.

Em análise ao gráfico, figura 81, é de notar que, de todas as operações que são realizadas durante o processo da Niquelagem, a que fica mais dispendiosa em termos de tempo é o próprio processo de “Transformação” das placas das correntes, 55%. Sendo este o processo que é efetivamente pago pelo cliente e aquele que acrescenta valor ao produto. Desse modo, e porque estas operações de “Transformação” não podem ser alteradas em termos do tipo de tratamento dado às peças, devemos considerar como ponto de partida de melhoria a segunda operação mais dispendiosa de tempo, neste caso a “Stockagem”, que representa 37% do tempo neste processo. Estes resultados indicam que a maioria do tempo em que as peças não estão em transformação, estas estão paradas à espera de avançar para a próxima operação.

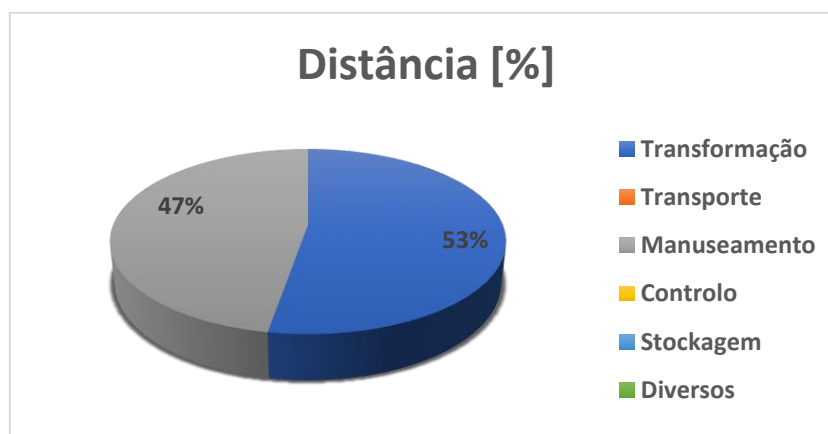


Figura 82 - Gráfico de percentagens relativo às distâncias percorridas por tipo de operação.

Analisando o gráfico, figura 82, anteriormente representado, relativo às distâncias percorridas das peças, é de salientar que mais uma vez a percentagem da “Transformação” é a mais elevada, 53%. Como já foi dito anteriormente esta tarefa não deve ser alterada visto que a empresa tem o seu processo de tratamento das peças bem delineado. Tendo sido esse já explicado em pormenor anteriormente com a passagem das placas nas diversas tinas de tratamento de Niquelagem. Os restantes 47% de metros percorridos pelas peças são relativos ao “Manuseamento” sendo este o foco onde nos devemos centrar para a possível melhoria do processo.

6.4. Layout Futuro

A movimentação excessiva de material é um dos vários tipos de desperdícios existentes na indústria. Todo o tipo de processamento que não cria valor ao cliente, deve ser considerado desperdício. O conceito de layout está normalmente associado a instalações industriais. No entanto, podemos encontrar a aplicação do conceito noutros tipos de instalações, tais como, armazéns, escritórios, lojas comerciais, etc. Podemos dizer então que o significado de layout é a forma como os componentes de um determinado espaço se encontram distribuídos nessa área. O layout é uma característica inerente a qualquer operação, visto que determina a sua forma, aparência e a maneira como materiais, informações e colaboradores fluem através dessa operação. Um dos principais aspetos prejudiciais é a distância de viagem do produto ou matéria-prima entre os equipamentos, a qual tem um custo que pode chegar a proporções enormes ao longo do tempo. O que pode parecer para o planificador uma curta distância, pode tornar-se, ao longo da vida de uma instalação, em dias perdidos a viajar (Jesus, 2017). Posto isto, e consoante a experiência obtida na secção de Niquelagem da empresa, foi proposto um Layout da expansão futura da unidade fabril da SRAMPORT com a implementação de uma nova Linha de Niquelagem, figura 83. Neste Layout constam os seguintes equipamentos: 2 Linhas de Niquelagem, 2 consolas de controlo das linhas, 1 tina suplementar de apoios às linhas, 2 secadoras, 2 espaços técnicos e 1 Hote, 2 carros de transporte de cargas, 2 carros de peças para Niquelar, 2 balanças, 5 estufas (2 atuais + 3 futuras), 1 secção de arrumos, 1 carril de contentores, 1 local para as peças já niqueladas e 1 secadora de apoio extra. Apresenta-se a seguir a proposta de Layout que futuramente poderá ser implementada pela SRAMPORT.

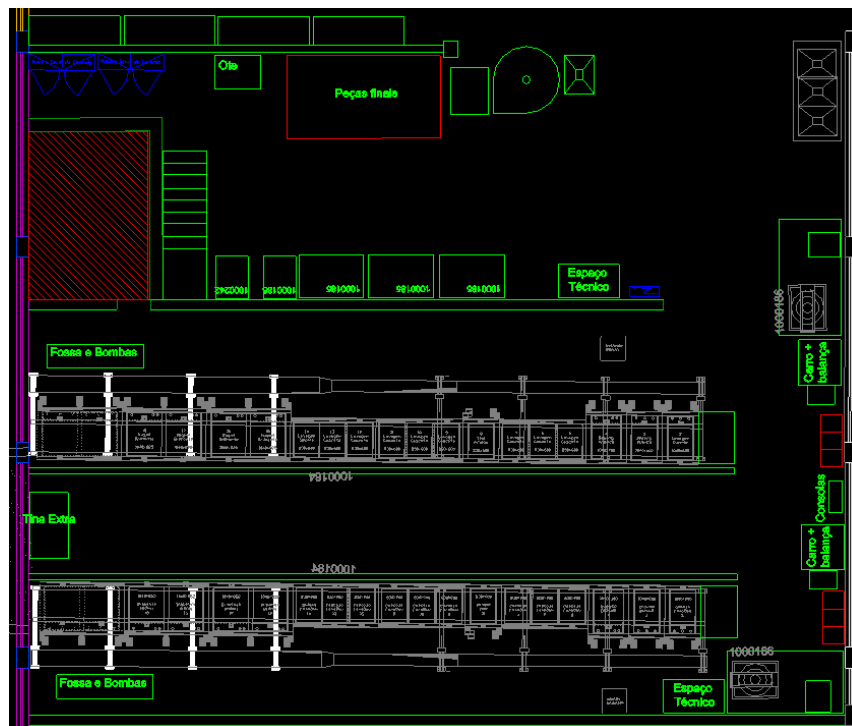


Figura 83: Layout futuro proposto para o aumento da unidade fabril da SRAMPORT.

Na proposta de Layout é de realçar que os componentes relativos à Niquelagem propriamente dita, ficam todos muito próximos entre si, sendo eles as secadoras, as balanças, os espaços técnicos e os carros de peças para niquelar. Assim, é facilitada a tarefa do operador para o manuseamento que necessita de ser feito, ficando otimizado o espaço de modo que sejam percorridos menos metros pelo operador e pelas cargas, passando de 47% dos metros percorridos pela carga em manuseamento para 30% (como se verifica no gráfico, figura 84).

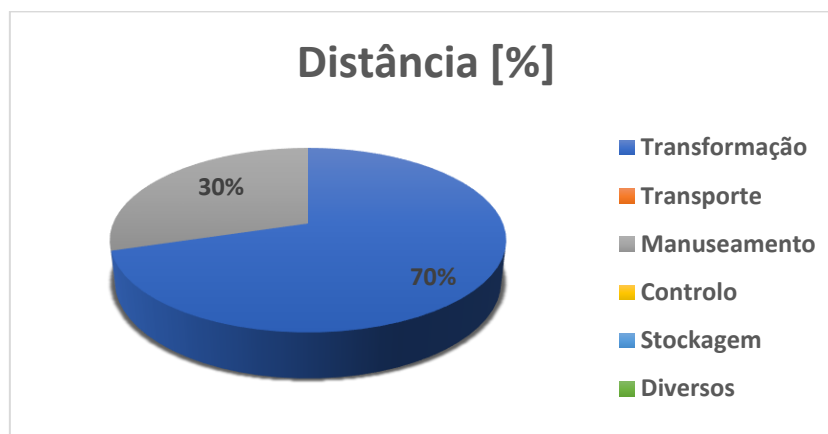


Figura 84 - Gráfico de percentagens relativo às distâncias percorridas por tipo de operação do layout futuro proposto.

Também é de salientar que foi deixado um corredor entre as 2 Linhas de Niquelagem para que este sirva de passagem do empilhador em futuras operações de manutenção a fazer nas tintas ou tambores das Linhas. Por outro lado, as estufas estão posicionadas já fora da zona das linhas sendo esta uma desvantagem deste Layout. Porém, como a zona de peças finais fica logo em frente às estufas, em termos de transporte e descarga dos carros com as cargas já niqueladas, é também facilitada esta tarefa ao operador, poupando-lhe também tempo que poderá servir para executar outras tarefas como o controlo de peças ou carregamento dos tambores das linhas. Também a nova secadora de apoio extra ficaria posicionada fora da zona da Linha da Niquelagem devido à propagação de pó que esta poderia vir a causar, e, tendo em conta que os banhos são muito sensíveis, este posicionamento é fundamental se não existir grande capacidade de exaustão nesta secadora.

Desta forma, o operador e as próprias cargas, irão diminuir os metros percorridos sendo que essas movimentações de manuseamento não acrescentam valor ao produto.

7. CONCLUSÃO

Com o passar do tempo as empresas têm sido confrontadas com diversas dificuldades, no qual tentam dar resposta para que se possam manter e até mesmo ter um crescimento no mercado onde atuam. A gestão industrial tem tido uma tarefa muito importante para a criação de sistemas eficientes e flexíveis, na tentativa de atingir a produtividade, satisfação dos funcionários e a atividade segura nas condições adversas que caracterizam o cenário competitivo atual. A rivalidade entre as organizações exige a diminuição de custos operacionais para que as mesmas mantenham o seu ranking no mercado, sendo que isto, apenas se torna possível com estruturas bem planificadas capazes de rentabilizar recursos, espaços, eliminando ao máximo os desperdícios e otimizando também os recursos humanos (Jesus, 2017).

Quanto aos objetivos do estágio que passavam por desenvolver alguns projetos na empresa para que, posteriormente, e consoante o desenrolar do estágio, fossem sendo avaliados quanto à sua viabilidade, foram de um modo geral atingidos. Acabou por ser atingido o objetivo do desenvolvimento da estrutura elevatória de melhoria do manuseamento de cargas pesadas na área da empresa da Niquelagem assim como apresentada a proposta de Layout futuro para a eventual expansão da unidade fabril da SRAMPORT.

Com a aplicação do projeto [Manuseamento de cargas na Niquelagem] explicado anteriormente, pretende-se que o operador melhor o seu desempenho na secção da Niquelagem e que faça menos esforço durante as operações em que tem que fazer o manuseamento das cargas de peças Niqueladas. Assim sendo, a alteração proposta passa pela elevação automática das cargas retirando aí ao operador possíveis problemas de ergonomia que poderia vir a sofrer tendo em conta o número de vezes que repete a tarefa de elevar as cargas atualmente. A estrutura elevatória irá permitir ao operador eliminar a tarefa de elevação de carga tendo apenas de fazer posteriormente a transição da superfície dos 4 rolos para as prateleiras do carro transportador. Deste modo irá ser facilitada a tarefa de posicionar as cargas não comprometendo nem o fluxo da secção da Niquelagem, em termos de tempos de operação e distância percorrida pelas cargas, nem o operador que, por outro lado, ficará mais disponível fisicamente para realizar o resto das tarefas que lhe são atribuídas.

No que diz respeito aos valores obtidos no estudo de fadiga no veio enrolador, é de salientar que o ponto em que o veio é mais solicitado é no ponto D na chumaceira de fixação e por isso o diâmetro mínimo obtido aí foi superior aos pontos B e C (cerca de 15 mm), apesar da alteração de geometria no ponto B e da zona dos em que o veio é furado no ponto C. Nessa zona, o diâmetro arbitrado para o veio fica sobredimensionado não correndo o risco de ceder tendo o dobro do diâmetro comparando com o valor obtido neste estudo de fadiga no ponto em que o momento fletor é máximo (30 mm para 15 mm obtido no ponto D).

Por outro lado, nos valores relativos ao segundo estudo teórico, era espectável que os valores de tensão de cedência a que o fuso está sujeito fosse relativamente baixa (cerca de 30 MPa) tendo em conta que esta está maioritariamente submetido à tração. Por outro lado, tendo em conta a classe de resistência do fuso em estudo uma resistência à cedência bastante elevada (1080 MPa) o valor do diâmetro mínimo também correspondeu a um valor bastante abaixo daquilo que está a ser aplicado na realidade (cerca de 2,6 mm), ficando assim o fuso sobredimensionado não correndo qualquer risco de cedência do material.

No que se refere aos valores de tensão de cedência verificados no estudo computacional no *Solidworks*, é de salientar que nos estudos 1 e 3 esta tensão é bastante mais elevada do que nos estudos 2 e 4. Considerou-se como Tensões de Projeto as tensões verificadas no 2º ponto logo após o início de convergência de malha. Assim sendo e tendo em conta que os estudos 3 e 4 obtiveram melhores resultados, verificou-se estas tensões no ponto 11 do 3º estudo sendo a tensão de 79,6 MPa, e no ponto 13 do 4º estudo sendo a tensão de 51,1 MPa. Em conclusão, verifica-se que estas tensões estão bastante abaixo da tensão máxima de cedência do material, esta correspondente a 275 MPa.

Na proposta de Layout é de realçar que os componentes relativos à Niquelagem propriamente dita, ficam todos muito próximos entre si, sendo eles as secadoras, as balanças, os espaços técnicos e os carros de peças para niquelar. Assim, é facilitada a tarefa do operador para o manuseamento que necessita de ser feito, ficando otimizado o espaço de modo que sejam percorridos menos metros pelo operador e pelas cargas, passando de 47% dos metros percorridos pela carga em manuseamento para 30% (como se verifica no gráfico 20).

Caberá agora à SRAMPORT decidir quanto à implementação dos projetos desenvolvidos tendo em conta que tudo já está orçamentado e planeado para que apenas sejam feitas encomendas, aplicação dos vários componentes e alterações de Layout propostas que englobam os projetos. De realçar ainda que, ao longo do relatório, estão explícitos os pontos positivos e negativos do possível avanço nos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, R. (2011). *Melhoria da Produtividade de Equipamentos de Fabrico de Correntes de Rolos*. Relatório de Estágio, Protocolo de Cooperação do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra /SRAMPORT - Transmissões Mecânicas, Lda, Coimbra.

Caetano, M. (2010). <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-tribologicas>. Ciência e Tecnologia da Borracha (página internet oficial), Porto.

Ferreira, B. (2017). *Desenvolvimento de Equipamentos Industriais*. Relatório de Estágio, Protocolo de Cooperação Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra /SRAMPORT - Transmissões Mecânicas, Lda, Coimbra.

Jesus, N. (2017). *Programação da produção: Otimização de Layouts Industriais*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 1 vol.

Lopes, J. (2017). *Otimização do Processo de Manutenção de Ferramentas Progressivas e Gestão Documental de Equipamentos*. Relatório de Estágio, Protocolo de Cooperação Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra /SRAMPORT - Transmissões Mecânicas, Lda, Coimbra.

Morais, J. (2016). *Desenho Técnico Básico*. Porto, Portugal (em Português).

Paulino, F e Antunes, P. (2019). *Formulário de Órgãos de Máquinas*. Documentação de Apoio à Unidade Curricular “Órgãos de Máquinas II” da Licenciatura em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Pereira, H. (2006). *Comportamento à Fadiga de Componentes Estruturais sob a Acção de Solicitações de Amplitude Variável*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 vol.

Ramos, S. (2021). *Manual de Acolhimento*. SRAMPORT - Transmissões Mecânicas, Lda.

Sarmento, P. (2010). *Utilização de modelos de elementos finitos tridimensionais no cálculo estrutural de barragens de betão*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 1 vol.

Teixeira, P. (2014). *Análise e otimização dos fluxos e processos do setor de desempenho numa empresa de produção de perfis de aço*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 vol.

ANEXOS

MATERIAL	Carga** [kg]	Acerto** [kg]	Niquelagem	
			Tempo	GAMA
400 20	20	Min - 15,5kg Max - 21kg	87 min	400 20
400 34				400 34
400 35				400 35
400 36				400 36
400 49				400 49
419 11				419 11
440 12				440 12
400 73	17	Min - 13kg Max - 17,3kg		400 73
400 74				400 74
400 75				400 75
400 76				400 76
400 77				400 77
400 88				400 88
500 18	20	Min - 15,5kg Max - 21kg		500 18
500 19				500 19
500 28				500 28
400 78	17	Min - 12,5kg Max - 17kg	87 min	400 78
400 80				400 80
400 82				400 82
400 84				400 84
400 85				400 85
400 79	15	Min - 12,5kg Max - 17kg		400 79
400 87				400 87
400 89				400 89
400 96				400 96
440 21				440 21
440 23				440 23
440 24				440 24
500 43				500 43

Figura 85: Tipo de cargas para cada tipo de lote de peças durante o tratamento de superfície, “Niquelagem”.

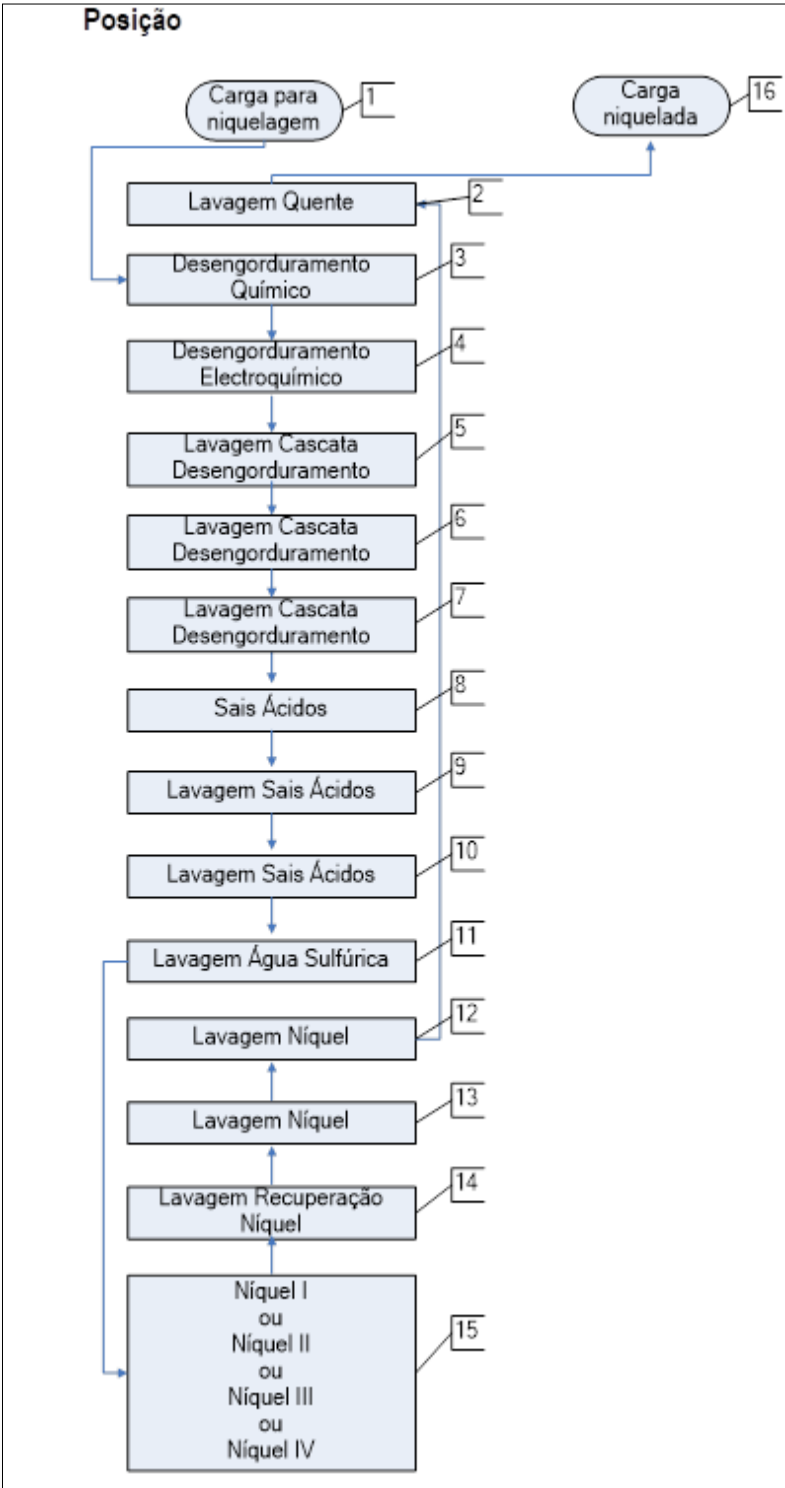


Figura 86: Esquema dos vários “banhos” durante a linha de “Niquelagem”.

GAMA	Secagem	Desgasificação			
	Tempo	Temperatura	Tempo	Programa	N ^a Cestos
400 20	6 min	180°C	240 min [4h] ou 300 min [5h]	Ciclo 2 240 min [4h] ou Ciclo 1 300 min [5h]	Máximo 20
400 34					
400 35					
400 36					
400 49					
419 11					
440 12					
400 73					
400 74					
400 75					
400 76					
400 77					
400 88					
500 18					
500 19					
500 28					
400 78	6 min	180°C	300 min [5h]	Ciclo 1 300 min [5h]	Máximo 16
400 80					
400 82					
400 84					
400 85					
400 79					
400 87					
400 89					
400 96					
440 21					
440 23					
440 24					
500 43					

Figura 87: Tempos de secagem e desgasificação para cada tipo de lote de peças durante o tratamento de superfície, “Niquelagem”.

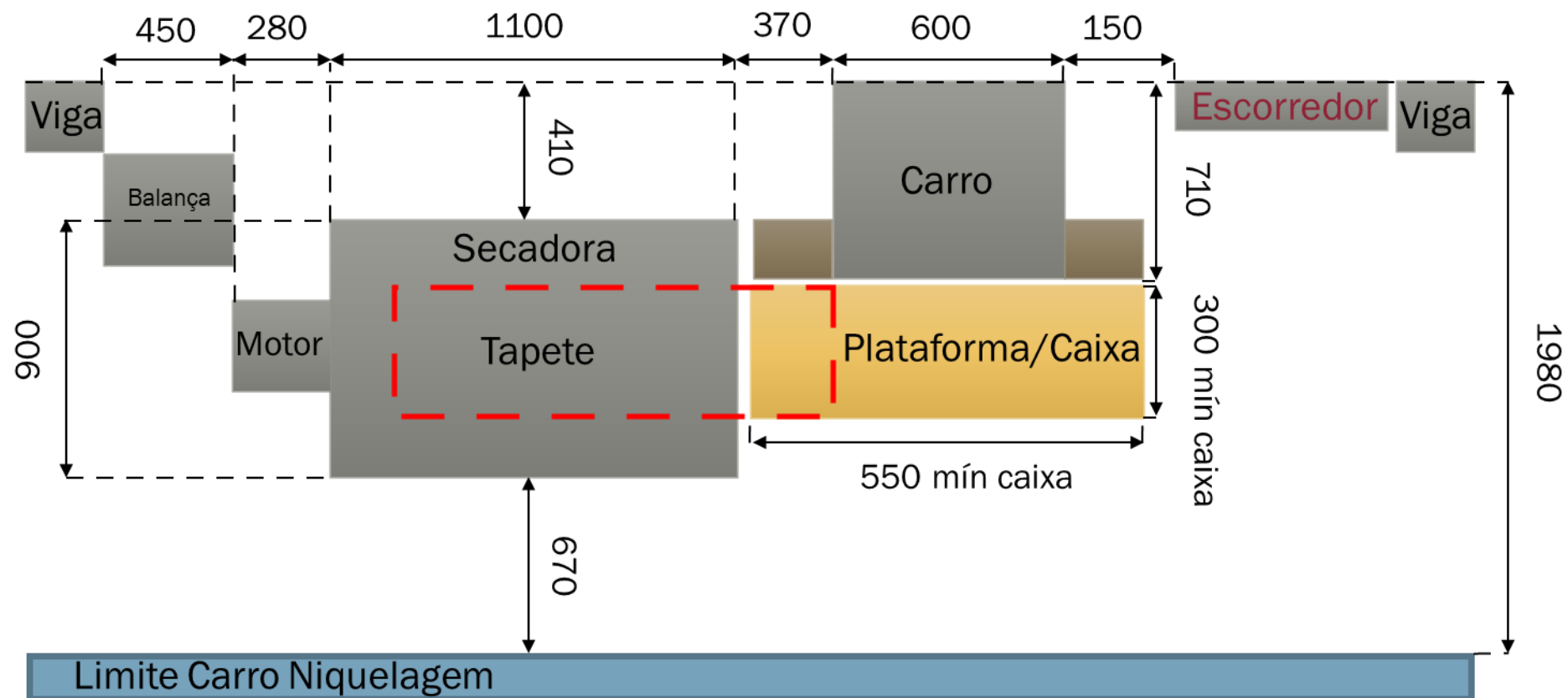


Figura 88: Layout inicial para implementação do projeto do Manuseamento de Cargas na "Niquelagem".

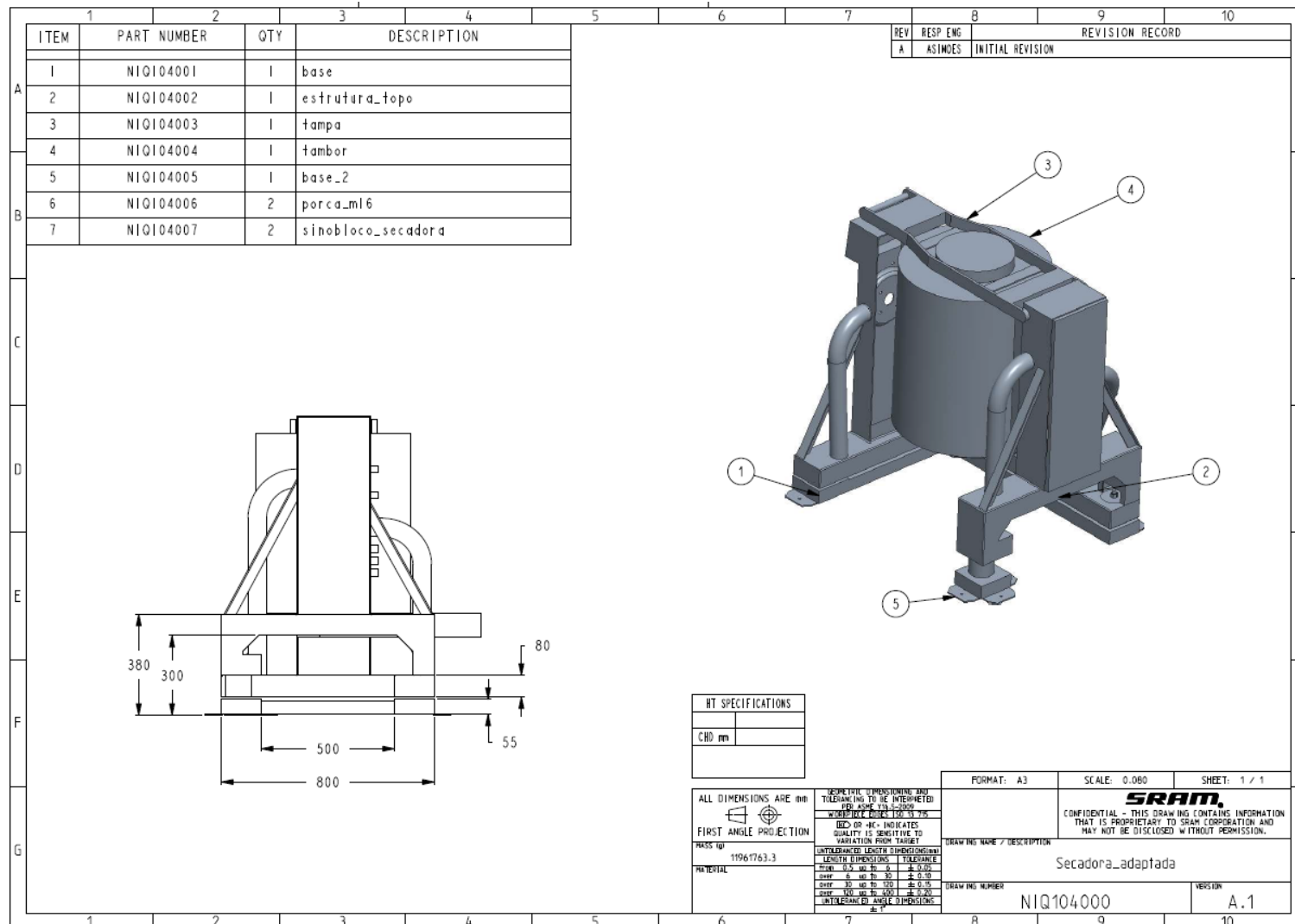


Figura 89: Desenho 2D da adaptação da secadora.

Dados técnicos			
Velocidade [r/min]	: 1380 / 63	Cos Phi	: 0.64
Rel. transmissão total [i]	: 21.98 / infinita	Esquema de ligações	: R13T / 681510506
Binário de saída máximo [Nm]	: 80	Classe temp.(°C)/Proteção (IP)	: 155(F) / 55
Binário de saída [Nm]	: 18	Classe eficiência internaciona	: IE3
Fator de serviço SEW-FB	: 4.40	Rendimento	
Posição de montagem	: M2A	a 50/75/100% Pn [%]	: 58.3 / 63.9 / 64.8
Pos. da caixa de terminais	: 180 (E) / X	Símbolo CE	: Sim
Lubrificante	: CLP PG 460 Óleo sint / 0.40	Freio	: BE03
Cor	: RAL7031 (cinza azul)	Alívio do freio	: HR = manual brake release self-reengaging
Veio oco	: 20mm	Posição de alívio [°]	: 123
Meio de execução	: Veio oco	Tensão freio [V]/-binário [Nm]	: 400 AC / 3.4
Tampa	: Sem	Rectificador do freio	: BG1.2
Adicional geral	: T com braco de torcao	Esquema ligação do freio	: B100 / 690010106
Documentação n.º	: 25803565 29151481	Proteção do motor	: TF = PTC sensor de temperatura
		Documentação n.º	: 25957104
Potência motor [kW]	: 0.12	Chapa de características	: Português
Frequência motor [Hz]	: 50	Posição chapa características	: 270°
Fator de duração do ciclo	: S1	Instruç. operação Idioma A/Qtd	: Português / 0
Tensão motor [V] / tipo conn.	: 230/400 triangulo/estrela	Lista peças/idioma/quantidade	: Português / 0
Corrente nominal [A]	: 0.70 / 0.40	Código estatístico	: 85015100

Figura 90: Dados técnicos do Motor SEW selecionado (KA19/T DRN63MS4/BE03HR/TF).

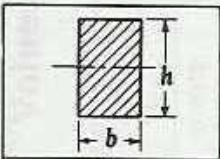
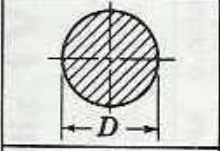
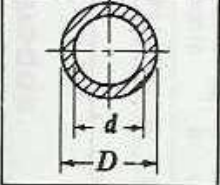
Section	Rectangular		Polar	
	Moment of inertia I	$\frac{I}{c}$	Moment of inertia J	$\frac{J}{r}$
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$		
	$\frac{\pi D^4}{64}$	$\frac{\pi D^3}{32}$	$\frac{\pi D^4}{32}$	$\frac{\pi D^3}{16}$
	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{16D}$

Figura 91: Momentos de inércia.

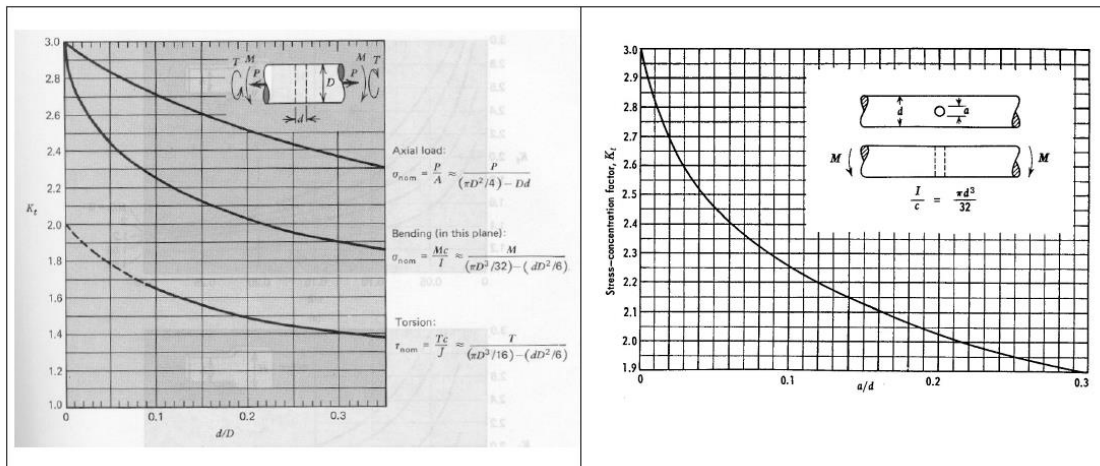


Figura 92: Fator estático de concentração de tensões do veio com furo.

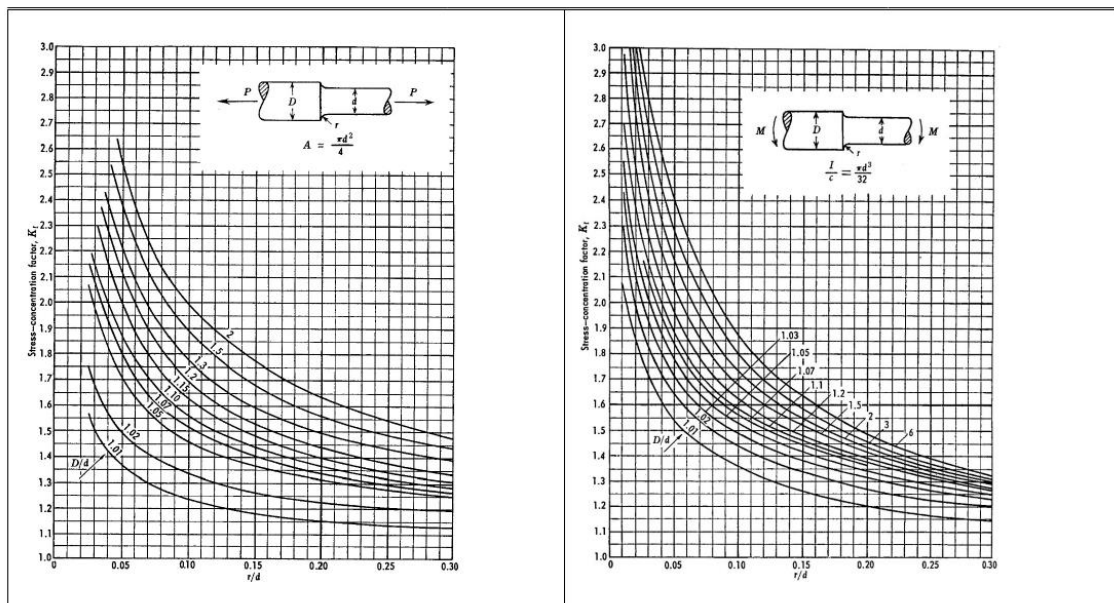


Figura 93: Fator estático de concentração de tensões do veio com redução de secção (Esforço axial e Momento Fletor).

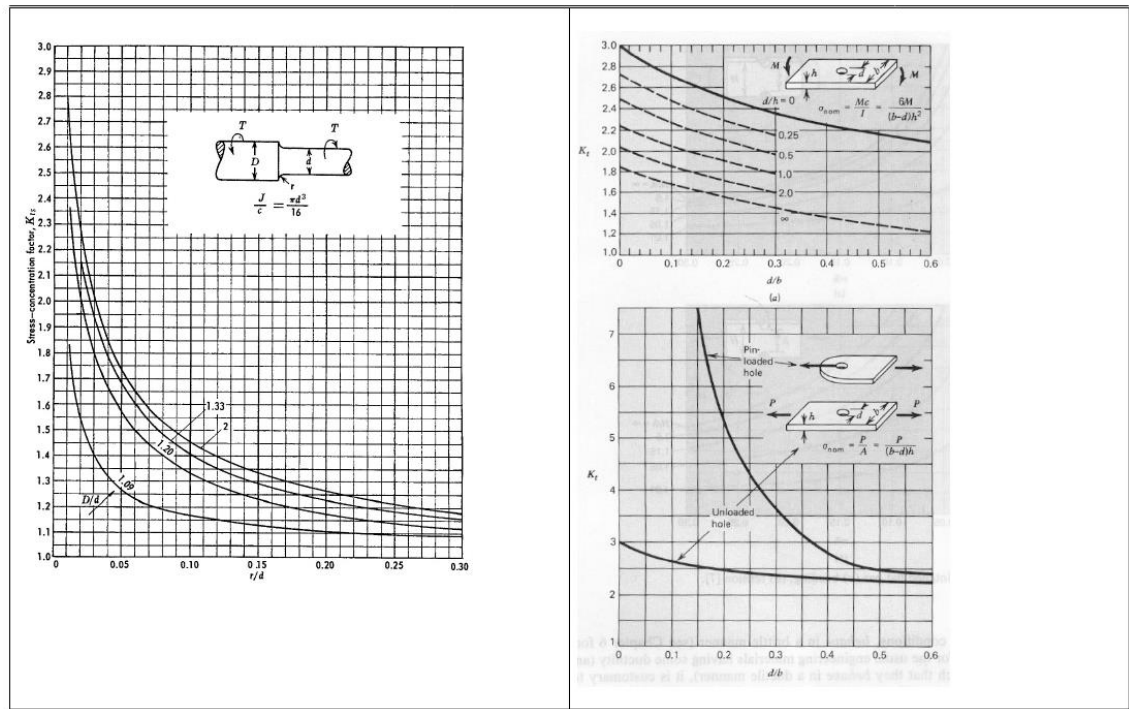


Figura 94: Fator estático de concentração de tensões do veio com redução de secção (Momento Torsor).

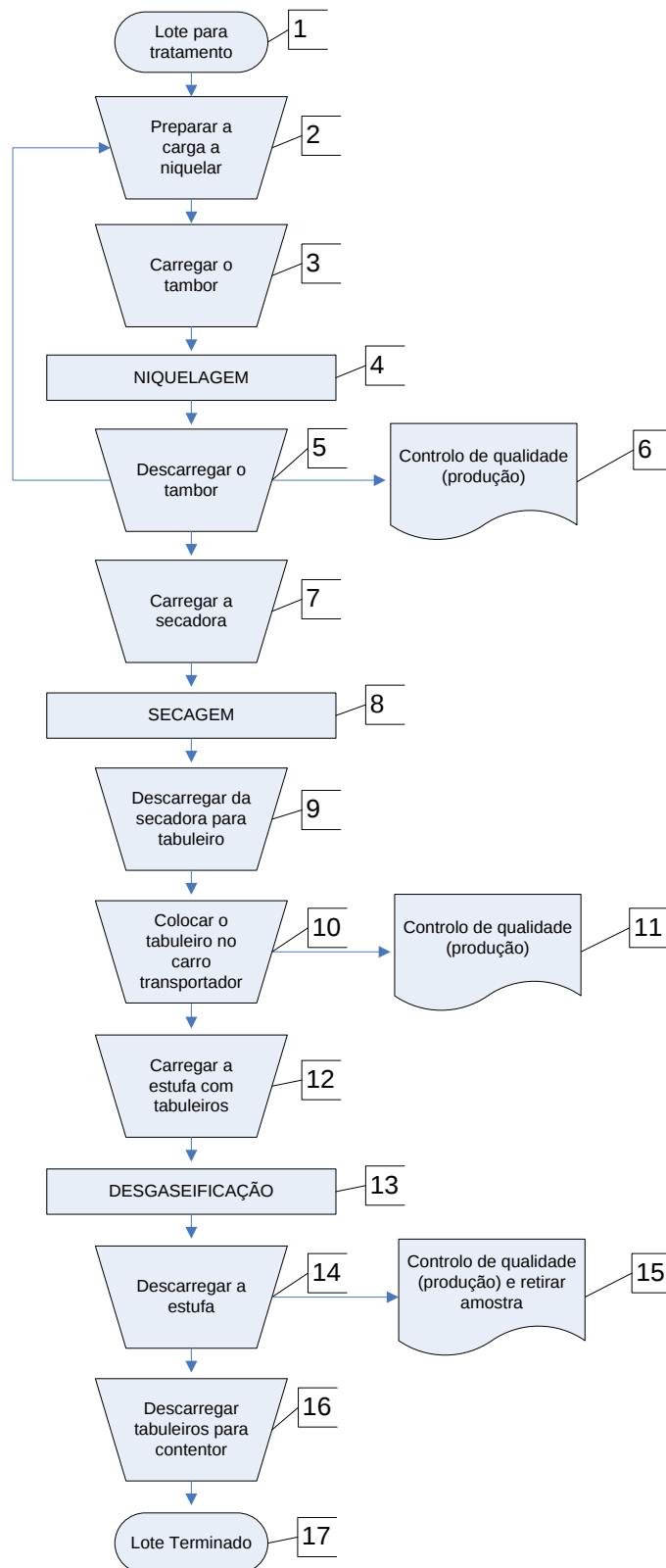


Figura 95: Esquema de operações seguidas pelo operador e pelas cargas na secção da “Niquelagem”.

Tabela 12: Tabela de convergência de malha do estudo 1.

Ponto	Tamanho do Elemento [mm]	Nº de Nós	Nº de Elementos	Deslocamento [mm]	Tensão Von Mises Máxima [MPa]
1	20	22938	11440	1,044	75,4
2	18	27397	13665	1,053	74,31
3	16	32439	16133	1,060	95,43
4	14	39937	20187	1,092	78,45
5	12	49756	25518	1,095	75,44
6	10	70541	36542	1,108	81,26
7	8	106036	55775	1,127	117,49
8	6	193176	105799	1,152	127,14
9	4	492512	283258	1,169	142,14

Tabela 13: Tabela de convergência de malha do estudo 2.

Ponto	Tamanho do Elemento [mm]	Nº de Nós	Nº de Elementos	Deslocamento [mm]	Tensão Von Mises Máxima [MPa]
1	20	22938	11440	0,453	40,093
2	18	24397	13665	0,456	40,093
3	16	32439	16133	0,457	40,093
4	14	39937	20187	0,460	40,079
5	12	49756	25518	0,461	40,085
6	10	70541	36542	0,463	41,354
7	8	106036	55775	0,464	41,503
8	6	193176	105799	0,465	41,503
9	4	492512	283258	0,467	41,503

Tabela 14: Tabela de convergência de malha do estudo 3.

Ponto	Tamanho do Elemento [mm]	Nº de Nós	Nº de Elementos	Deslocamento [mm]	Tensão Von Mises Máxima [MPa]
1	20	5480	2410	1,42	77,2
2	18	6888	3084	1,447	77,7
3	16	7389	3295	1,451	81,1
4	14	8839	3973	1,454	73,1
5	12	10847	4913	1,452	68,4
6	10	15172	6992	1,463	68,9
7	9	17842	8260	1,462	70,2
8	8	23817	11173	1,466	70,8
9	7	28700	13512	1,467	70,1
10	6	38407	18249	1,468	69,7
11	5	54678	26212	1,468	79,6
12	4	83130	40156	1,468	103,2
13	3	147549	71905	1,468	98,1

Tabela 15: Tabela de convergência de malha do estudo 4.

Ponto	Tamanho do Elemento [mm]	Nº de Nós	Nº de Elementos	Deslocamento [mm]	Tensão Von Mises Máxima [MPa]
1	20	5480	2410	0,75	37,6
2	18	6888	3084	0,774	41,6
3	16	7389	3295	0,773	41,9
4	14	8839	3973	0,777	43,8
5	12	10847	4913	0,777	43,6
6	10	15172	6992	0,784	46,7
7	9	17842	8260	0,785	46,6
8	8	23817	11173	0,787	48,02
9	7	28700	13512	0,788	47,6
10	6	38407	18249	0,789	49,2
11	5	54678	26212	0,79	49,9
12	4	83130	40156	0,791	49,8
13	3	147549	71905	0,791	51,1

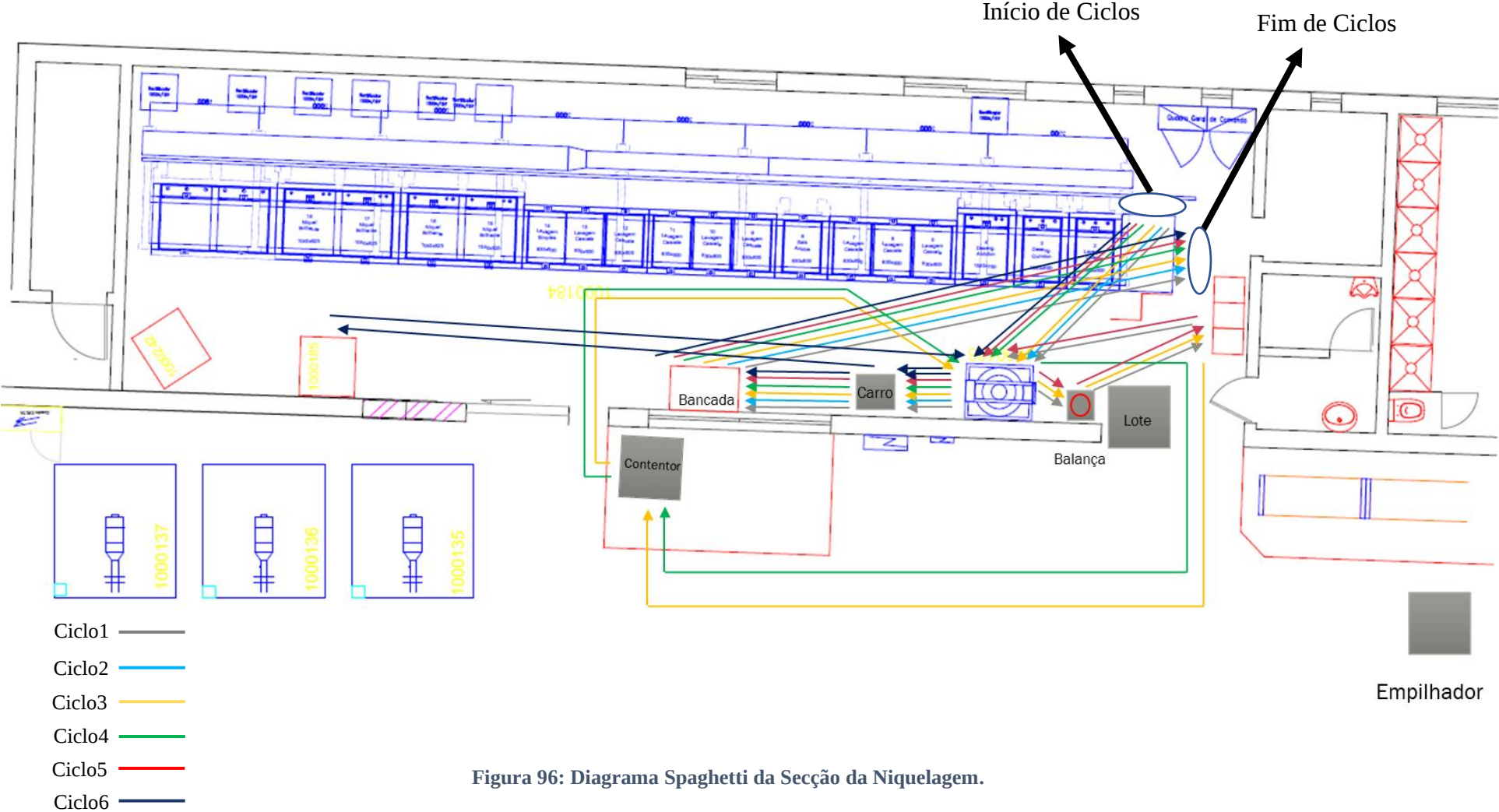


Figura 96: Diagrama Spaghetti da Secção da Niquelagem.

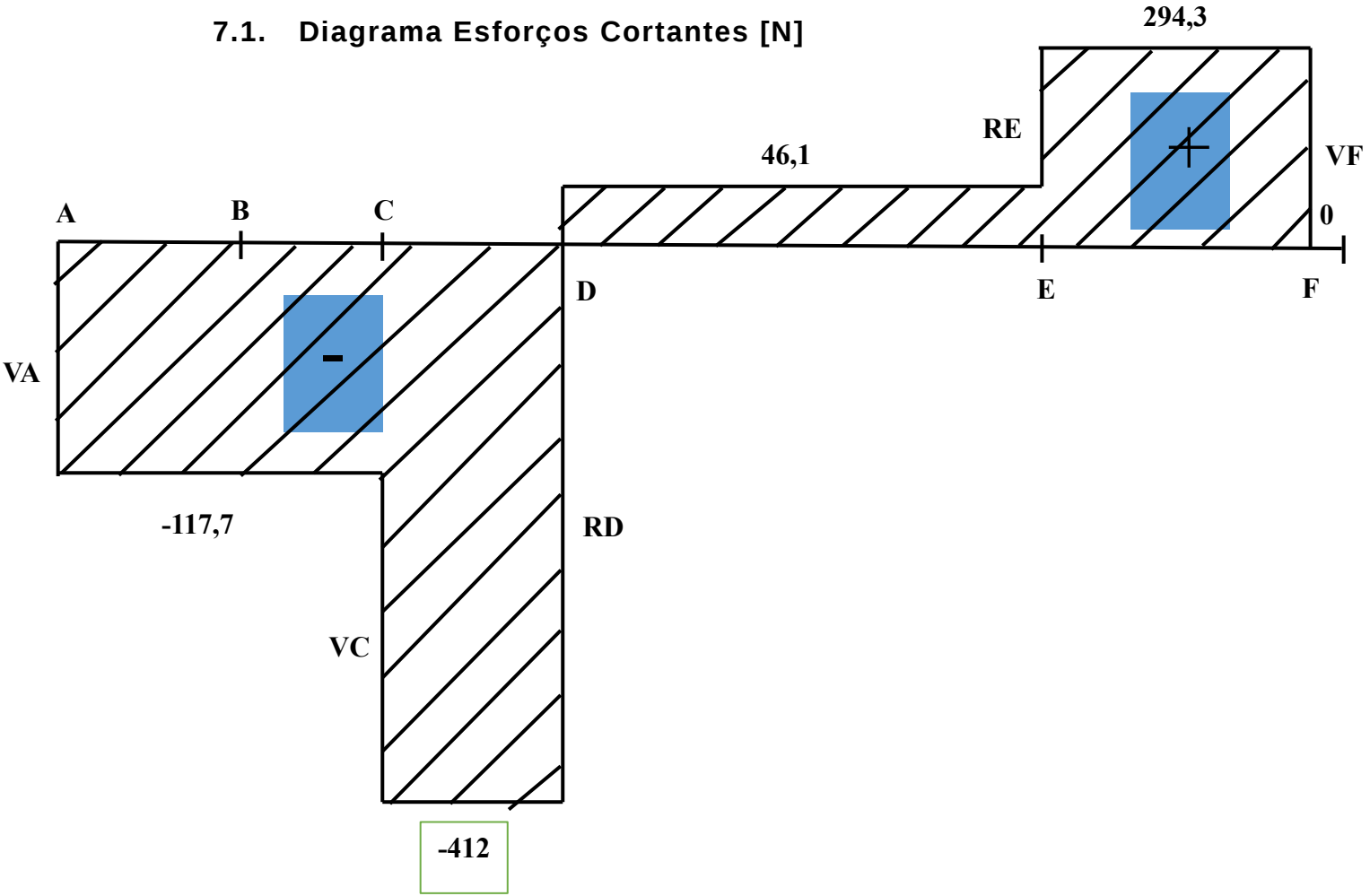
CARTOGRAFIA DE FLUXOS			Nome:	Alberto Simões	Atividade:	Seguimento de todo o processo de uma carga na Niquelagem
			Nome do operador:	João	Produto:	Placas de corrente interiores e exteriores
Operações:			Data:	16/04/2021	Lote:	400 80
			Atual:	Observações.		
1	Transformação		3			
2	Transporte		0			
3	Manuseamento		11			
4	Controlo		3			
5	Stockagem		6			
6	Diversos		2			
TOTAL			25			
Distância (metros) :			60,7			
Tempo 1ª carga (minutos) :			717,9			

	Nº Op.	Descrição:	Tipo Op.	Distância:	Tempo:	SÍMBOLOS					
				(metros)	(minutos)						
Pré tratamento de Níq.	1	Lote para tratamento no contentor	5	-	-						
	2	Carregamento e pesagem da carga na balança	3	0	0,5						
	3	Transporte do balde com carga da balança até perto do tambor	3	2	0,17						
	4	Carga em espera perto do tambor	5	0	12,7						
	5	Carregamento da carga no tambor	3	0,7	0,5						
Ações de tratamento	6	NIQUELAGEM	1	32	87						
Pré secagem	7	Descarregar carga do tambor para o balde	3	0	1						
	8	Controlo de carga (visual)	4	0	0,17						
	9	Transportar carga desde o tambor até à secadora	3	2,5	0,17						
	10	Carregar carga na secadora	3	0	0,5						
Ações tratamento	11	SECAGEM	1	0	6						
Pré desgasificação	12	Descarregar carga da secadora para tabuleiro	3	0	0,5						
	13	Transporte da carga da secadora para o carro transportador	3	2	0,5						
	14	Carga em espera no carro	5	0	190,5						
	15	Controlo de carga (espaço técnico)	4	0	2						
	16	Transporte da carga no carro até à estufa	3	12,5	1						
	17	Programar estufa	6	0	2						
	18	Aquecimento estufa [com cargas]	6	0	50						
Ações tratamento	19	DESGASEIFICAÇÃO	1	0	300						
Finalização de tratamento de Níq.	20	Pré-arrefecimento do carro	5	0	15						
	21	Transporte da carga no carro transportador desde a estufa até ao contentor	3	9	0,5						
	22	Carga em arrefecimento no carro transportador	5	0	45						
	23	Descarregamento da carga no carro transportador para o contentor	3	0	2						
	24	Controlo de carga (visual)	4	0	0,17						
	25	Lote terminado	5	-	-						

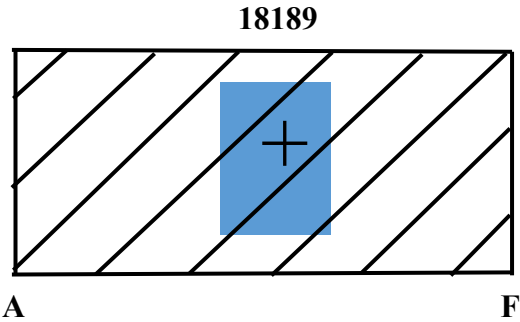
Figura 97: Diagrama de Fluxo de carga da secção da “Niquelagem”.

APÊNDICES

7.1. Diagrama Esforços Cortantes [N]



7.2. Diagrama dos Momentos Torsores [N.mm]



7.3. Equações de primitivação para obtenção do diagrama do Momentos Fletores

Tramo AC

$$M(x) = \int Q(x) dx = -117,7 dx = -117,7x + C, C = 0 \text{ [Sem momento localizado]}$$

$$Mf(C) = -117 \times 156 = -18361,2 \text{ N.mm}$$

Tramo CD

$$M(x) = \int Q(x) dx = -412 dx = -412x + C, \quad C = -18361,2$$

$$Mf(D) = -412 \times 86 - 18361,2 = -53793,2 \text{ N.mm}$$

Tramo DE

$$M(x) = \int Q(x) dx = 46,04432 dx = -46,04432x + C, \quad C = -53793,2$$

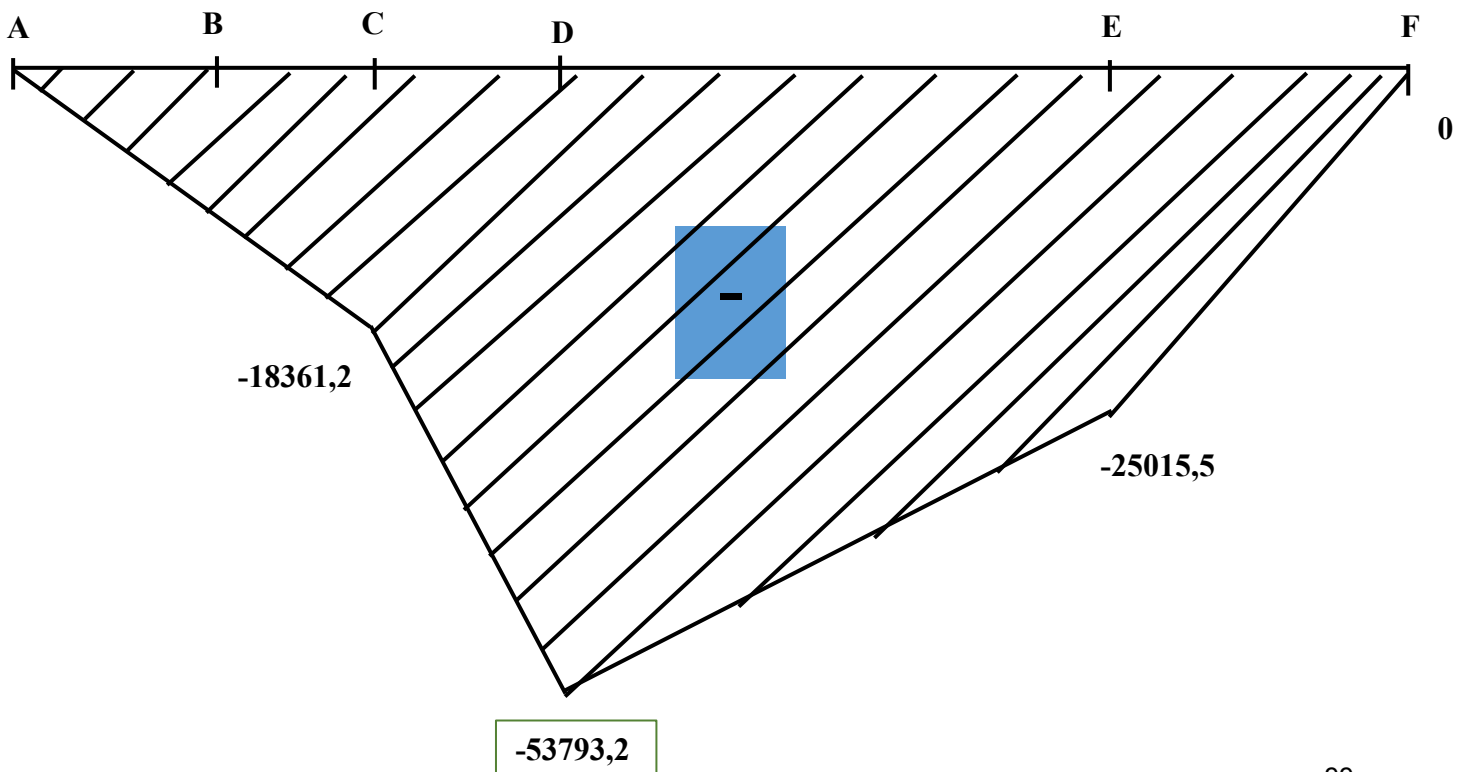
$$Mf(E) = 46,04432 \times 625 - 53793,2 = -25015,5 \text{ N.mm}$$

Tramo EF

$$M(x) = \int Q(x) dx = 294,3 dx = 294,3x + C, \quad C = -25015,5$$

$$Mf(F) = 294,3 \times 85 - 25015,5 = 0 \text{ N.mm}$$

7.4. Diagrama dos Momentos Fletores [N.mm]



7.5. Momento inércia secção do veio

$$I_x = \frac{\pi \times D^4}{64} = \frac{\pi \times 20^4}{64} = 7853,98 \text{ N} \cdot \text{mm}^4$$

7.5.1. Ponto B – Redução de secção

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_{tt} \times M_{tm}}{\sigma_c}\right)^2 + \left(\frac{k_{ff} \times M_f}{\sigma_f}\right)^2}} = 9,99 \text{ mm}$$

$n = 1,6667$, coeficiente de segurança.

$k_{ff} = 1,35$ – anexo figura 80.

$k_{tt} = 1,2$ – anexo figura 81.

$M_f = 10828,4 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$M_{tm} = 18189 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$\sigma_f = 273 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 900 \text{ MPa}$

7.5.2. Ponto C – Furos

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_{tt} \times M_{tm}}{\sigma_c}\right)^2 + \left(\frac{k_{ff} \times M_f}{\sigma_f}\right)^2}} = 13,40 \text{ mm}$$

$n = 1,6667$, coeficiente de segurança.

$k_{ff} = 2,05$ – anexo figura 79.

$k_{tt} = 1,55$ – anexo figura 79.

$M_f = 18361,2 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$M_{tm} = 18189 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$\sigma_f = 273 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 900 \text{ MPa}$

7.5.3. Ponto D – Mf máximo na chumaceira

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_{tt} \times M_{tm}}{\sigma_c}\right)^2 + \left(\frac{k_{ff} \times M_f}{\sigma_f}\right)^2}} = 14,99 \text{ mm}$$

$n = 1,6667$, coeficiente de segurança.

$k_{ff} = 1$ – não ocorre incidente geométrico.

$k_{tt} = 1$ – não ocorre incidente geométrico.

$M_f = 53793,2 \text{ N.mm}$

$M_{tm} = 18189 \text{ N.mm}$

$\sigma_f = 273 \text{ MPa}$

$\sigma_c = 900 \text{ MPa}$